Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

FLOTACE KARBONÁTOVÝCH SLOŽEK URANOVÝCH RUD

Flotation of carbonate components of uranium ores

Diplomová práce

Student: Bc. Zdeněk Čejka

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Botula, Ph.D.

Prohlášení

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literatůru.

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Ostrava Podpis autora

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zdeněk Čejka**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů

Téma: Flotace karbonátových složek uranových rud
Flotation of carbonate components of uranium ores

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Uranové rudy,charakteristika a technologie úpravy
3. Experimentální ověření flotační separace karbonátových složek uranové rudy
4. Vyhodnocení experimentu
5. Závěr

Rozsah práce:50-70 stran

Seznam doporučené odborné literatury:

MERKEL,J.B.,HASCHE-BERGER,A. *Uranium, Mining and Hydrogeology*.Springer:2008. ISBN 978-3-540-87745-5
GUPTA,CH.K. *Uranium Resources Processing* .Springer:2003. ISBN 3-540-67966-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Botula, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová
vedoucí institutu

JUDr. Alexander Király, Ph.D.
děkan fakulty

Anotace diplomové práce

ČEJKA Z.: *Flotace karbonátových složek uranových rud*
Zpracovávání a zneškodňování odpadů, Hornicko-geologická fakulta VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 78 stran, Diplomová práce, vedoucí: doc. Ing. Jiří Botula, Ph.D.

Tato práce vznikla v rámci Technologické agentury České republiky (TA ČR), konkrétně v projektu Centra kompetence, jehož součástí je DIAMO, státní podnik. Právě DIAMO, státní podnik je zadavatelem řešené problematiky. Tato diplomová práce má zhodnotit možnosti separace karbonátových složek z těžené rudy pro možnosti změny loužícího procesu. Konkrétně z přechodu alkalického loužení na kyselé.

Annotation

ČEJKA Z.: *Flotation of carbonate components of uranium ores*
Faculty of Mining and Geology, VSB - Technical University of Ostrava, 2014, 78 pages. Diplome thesis, head: doc. Ing. Jiří Botula, Ph.D.

The origin of the Diploma thesis came from the Agency of the Czech Republic (TA CR), especially from the project of Competence Center, which includes the DIAMO, state enterprise. DIAMO, state enterprise is the authority of this issue. Main goal of the thesis is to evaluate the possibilities of separation carbonates components of mined ore for the possibilities of change a leaching proces. Specifically, crossed from alkaline leaching to the acidic leaching.

Klíčová slova

Karbonáty; loužení; uran; úprava uranové rudy; alkalické a kyselé loužení; DIAMO, státní podnik

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucím diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Botulovi, Ph.D. za možnost práce na tomto projektu a za trpělivost při jeho tvoření (zejména při tvoření kontrolního pracoviště). Diamu, státní podnik za poskytnutí vzorků a mojí rodině, která mi poskytla zázemí.

Seznam zkratek a symbolů

RAR	Zajištěné zdroje anglicky Reasonably assured resources
IR	Odhozené zdroje anglicky Inferred resources
PPM	Partes per milion (jedna miliontina celku)

OBSAH

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE ... 1

2. FLOTACE ... 3

2.1 SLOŽENÍ A CHARAKTERISTIKA FÁZÍ PŘI PĚNOVÉ FLOTACI ... 4

2.1.1 Pevná fáze ... 5

2.1.2 Kapalná fáze ... 5

2.1.3 Plynná fáze ... 7

2.2 FLOTAČNÍ ČINIDLA ... 7

2.3 SBĚRAČE ... 8

2.3.1 Ionogenní sběrače ... 8

2.3.2 Neinonogenní sběrače ... 9

2.4 PĚNIČE ... 10

3. URANOVÉ RUDY, CHARAKTERISTIKA A TECHNOLOGIE ÚPRAVY ... 11

3.1 URANOVÁ RUDA A JEJÍ ZÁKLADNÍ GEOCHEMICKÉ VLASTNOSTI ... 11

3.2 CELOSVĚTOVÉ ZÁSOBY URANU ... 14

3.2.1 Identifikace zdrojů ... 14

3.2.2 Geologické rozložení zdrojů uranu ... 16

3.3 CELOSVĚTOVÁ TĚŽBA ... 20

3.4 STAV URANOVÉ TĚŽBY DLE STÁTŮ ... 23

3.5 ZPŮSOBY TĚŽBY URANOVÉ RUDY ... 26

3.5.1 Parametry ložiska uranové rudy ... 26

3.5.2 Otevřený důl ... 29

3.5.3 Podzemní důl ... 30

3.5.4 Loužení metodou in situ ... 31

3.6 SEKUNDÁRNÍ PRODUKCE URANU ... 32

3.7 ÚPRAVA URANOVÉ RUDY ... 33

4. TĚŽBA A ÚPRAVA RUDY V ČR ... 34

4.1 BLIŽŠÍ POHLED NA LOŽISKO ROŽNÁ ... 35

4.2 PRAXE ÚPRAVY URANOVÉ RUDY V RÁMCI GEAM, O. Z., DOLNÍ ROŽÍNKA ... 36

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ... 41

5.1 MATERIÁL A POSTUPY ... 41

5.1.1 Charakteristika materiálu ... 41

5.1.2 Charakteristika vzorku dle flotovatelnosti ... 42

5.1.3 Laboratorní flotace ... 44

6. VÝSLEDKY A DISKUZE ... 45

7. ZHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ ... 47

1. Úvod a cíl práce

Tato práce je vypracována v rámci projektu TA ČR Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin (CEEMIR) dále jen Centrum kompetence. Centrum kompetence je uskupení, které je tvořeno výzkumnými organizacemi (Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Česká geologická služba) a těžebními a vývojovými projekčními podniky (Diamo s.p., Sedlecký Kaolin a.s, RPS Ostrava a.s., Watrad spol. sro.). Tato asociace reaguje a rozvíjí Českou politiku zacházení s nerostnými surovinami (Raw Material Policy of Czech Republic), která navazuje na výzvu Evropské unie Raw material Initiative, která měla za úkol zmapovat potenciální zásoby přednostně neenergetických surovin v rámci Evropské unie (viz Tabulka 1).

Tabulka 1 Přehled kritických zdrojů v rámci EU (Report on critical raw material for EU, 2014)

Hliník	Antimon	Baryt	Bauxit	Bentonit	Beryllium
Vanad	Koksovatelné uhlí	Chrom	Kaolin	Kobalt	Měď
Křemelina	Živec	Fluorit	Galium	Germanium	Zlato
Sádrovec	Hafnium	Indium	Železná ruda	Vápenec (vysoce kvalitní)	Lithium
Magnezit	Magnezium	Mangan	Molybden	Přírodní grafit	Přírodní guma
Nikl	Niob	Perlit	Fosfátové horniny	Platina	Potaš
Měkké dřevo	Kovy vzácných zemin Těžké *	Kovy vzácných zemin Lehké *	Rhenium	Řezané dřevo	Scandium*
Selen	Křemičitý písek	Křemičitany kovů	Stříbro	Mastek	Tantal
Telur	Cín	Titan	Wolfram		

* Kovy vázaných zemin jsou rozděleny do 3 kategorií: lehké, těžké a scandium

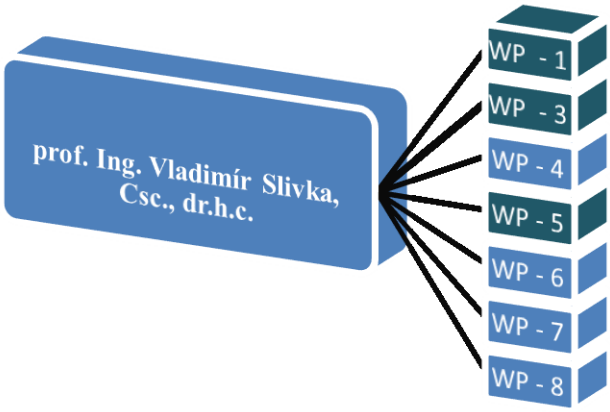
Centrum kompetence tedy reaguje na potenciální ložiska těchto surovin a hledá nové cesty, jak efektivně tyto zdroje využívat pro potřeby České republiky. V roce 1992 byla v České republice ukončena činnost rudného hornictví, proto lze počítat s nedostačenými zásobami převážně v minerálech nutných k průmyslovému užití. Naopak zde jsou relativně velké zásoby pro pokrytí potřeb keramického a sklářského průmyslu. Vládou vydané limity pro těžbu uhlí redukují možnost přístupu k těmto hnědouhelným rezervám. Z pohledu Evropské unie má Česká republika signifikantní rezervy uranové rudy, v kontrastu s ropou a zemním plynem, které jsou v měřítku k potřebám České republiky zanedbatelné. Česká republika je proto závislá na importu strategických surovin po pokrytí její spotřeby. Po ukončení těžby rudných materiálů je Česká republika závislá na importu i těchto surovin. Právě tento problém řeší Centrum kompetence, které se snaží najít nové způsoby zisku těchto surovin od hledání nových nalezišť, znovuotevření již ukončených důlních činností,

až po možnosti získávání těch surovin z odpadních materiálů (skládky, odkaliště, odvaly…).

Část Centra kompetence, která je zodpovědná za těžbu, je povinná navrhovat takové technologie, které budou maximálně šetrné k životnímu prostředí. Další povinností je prozkoumat případné dopady těžby na chráněné území, přírodní parky, území ekologicky významná, území spadající do NATURA 2000 a jiné.

Celkový účel Centra kompetence je zhodnocení potenciálního zisku strategických surovin na území České republiky, určení nových standardů pro posuzování rezerv kritických surovin pro Evropskou unii, což zahrnuje i posuzování množství těchto surovin v odpadních materiálech. Pro dosažení těchto úkolů jsou nedílnou součásti Centra kompetence i společnosti ze soukromého sektoru, které mají mnoho specialistů v oborech jako geologický průzkum či těžba a nakládání s minerály. Právě propojení všech subjektů jak státních, tak nestátních organizací vytváří unikátní skupinu pro řešení důležitého úkolu jako je Česká politika zacházení s nerostnými surovinami.

Centrum kompetence je rozděleno do několika skupiny (viz Obrázek 1), ve skupinách WP1, WP2 a WP3 má Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava pouze svoje členy, kteří nejsou ve vedení. Obrázek 1 ukazuje rozvrstvení jednotlivých pracovních skupin pouze v rámci Vysoké škola báňské – Technické univerzity Ostrava a ne v rámci celého projektu. Tato práce spadá pod skupinu WP – 7, která se zabývá optimalizováním



Obrázek 1 Hierarchie projektu v rámci Vysoké škola báňské – Technické univerzity Ostrava

odpadních zdrojů. Zkoumaný vzorek byl odebrán v technologii úpravy uranové rudy na výstupu z mletí a hydrosepračních procesů. Velikost částic v tomto stádiu se pohybuje kolem 0,074 mm (více v charakteristice odebraného vzorku). Konkrétně možnosti odseparování karbonátových složek, za účelem zlepšení průběhu a ekonomičnosti extrakce uranové rudy. Separace karbonátů bude prováděna převážně flotačními postupy.

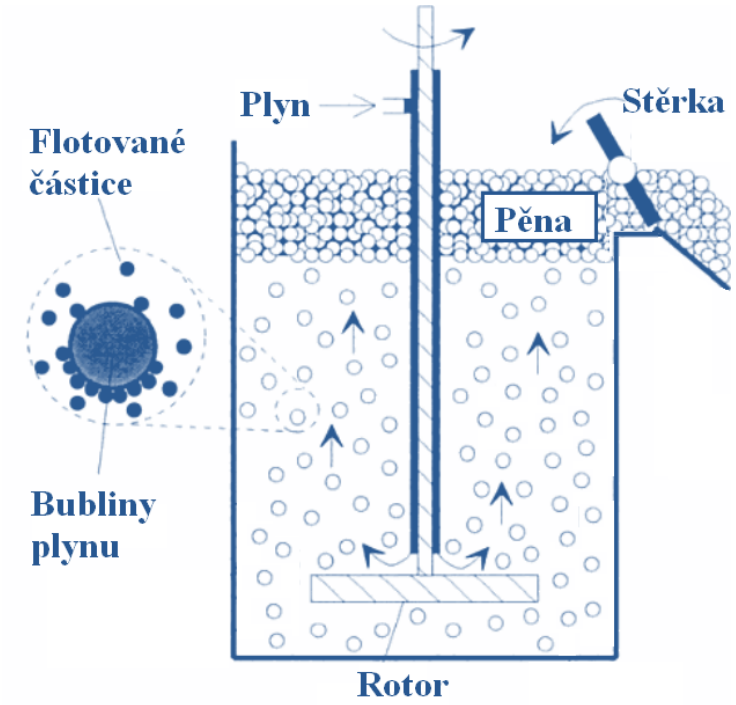
2. Flotace

Flotace je separační metoda, která odděluje jednotlivé složky celku na základě rozdílných vlastností materiálu. Flotace je proces založený na separaci materiálů na základě fyzikálně-chemických vlastností povrchu materiálu (Kmeť, 1992). Pro každý povrch je charakteristická povrchová energie a ta podmiňuje výsledné flotační vlastnosti materiálu či afinitu k aditivům (Nguyen, 2004).

Proces flotace je velice komplexní děj, který se odehrává na rozhraních: kapalina – plyn, kapalina – kapalina, kapalina – pevná látka a pevná látka – plyn (Nguyen, 2004). Dle Razumova je flotace proces, při kterém dochází k oddělování materiálu v závislosti na schopnosti zrn přichytit se a ustálit na povrchu fázového rozhraní. (Razumov, 1982)

Flotace má mnoho dílčích typů (olejová flotace, filmová flotace…). V této teoretické části bude popsána metoda pěnové flotace použité v experimentální části, jejíž schematický průběh je na obrázku 2. Pěnová metoda je proces rozdružování, při kterém se jednotlivá zrna na základě povrchových vlastností přichytí na plynovou bublinu (bubliny jsou dodávané příslušným aeračním přístrojem) a spolu s ní přechází do stabilní pěny, kde je takto separovaný materiál odstraňován stěrkou. Nepřichycená zrna zůstávají ve flotační nádobě. (Kmeť, 1992)

Velikost flotovaného materiálu, respektive zrn dotyčného materiálu, hraje důležitou roli. S procesem zmenšování částic (drcení, mletí) narůstá specifický povrch, a tím i povrchová energie. Proto je důležité upravit průměr zrn před flotací. Dle Kmetě by průměr zrn neměl přesáhnout 0,6 mm. Při flotaci rudných materiálů se maximální průměr zrna pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,25 mm (Kmeť, 1992). Ve flotační praxi se flotují zrna i o menším průměru. Nejčastěji v rozmezí mikrometrů (Larsen, 2015, Filippov 2012, Liu 2004). Například pro uvolnění majoritního podílu minerálů obsahujících tantal a niob je ideální frakce mletí v rozmezí 100 – 50 μm (Bulatovic, 2010).



Obrázek 2 Schematický popis pěnové flotace upraveno dle (Nguyen, 2004)

Flotace dokáže oddělit i tyto jemné podíly v řádech mikrometrů (jemné dispergované materiály). Malé frakce dříve technologie nedokázala zachytit (gravitační metody, těžkokapalinové rozdružovače…) a tak přecházely do odpadu (například odvaly). Při velké koncentraci těchto jemných frakcí je rentabilní tyto odvaly zpracovat a výslednou surovinu z nich získat (Fečko, 2001).

Flotace je ideální nástroj pro úpravu nízko koncentrovaných materiálů (například chudých rud). Množství rud s vysokým obsahem účelové složky se časem zmenší a bude potřeba i z těchto nízko koncentrovaných materiálů získávat účelové části, které zde budou v malém zastoupení. Flotace je ideálním nástrojem, protože je schopna separovat materiály (například v případě minerálů) na základě jejich chemického složení respektive vlivu krystalické mřížky a její izotropie/anizotropie na povrch (Kmeť, 1992). Zvětšení univerzálnosti lze dosáhnou pomocí aditiv tzv. flotačních činidel, která mění vlastnosti na rozhraní fází (Bulatovic, 2007).

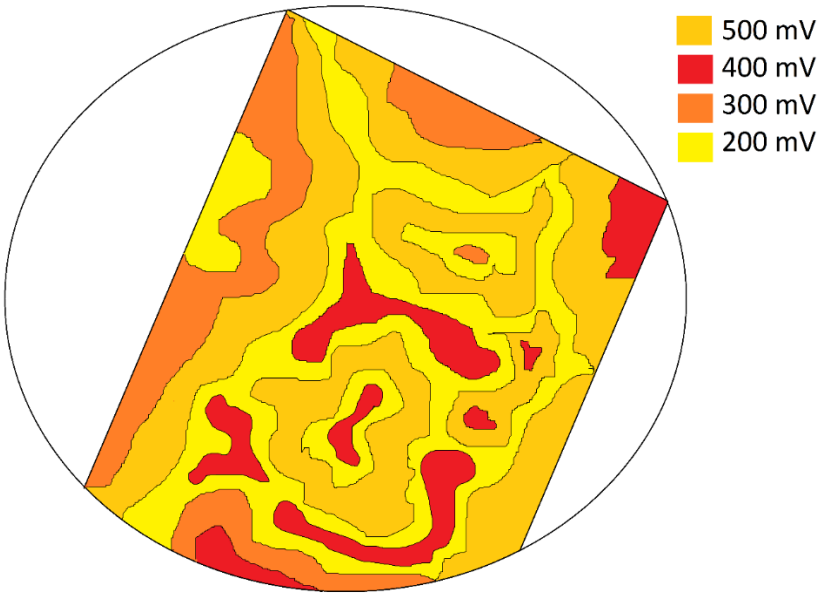
2.1 Složení a charakteristika fází při pěnové flotaci

Pěnová flotace je charakterizována ději na rozhraních fází. Fáze jsou pevná (při flotaci rud například minerály), kapalná (nejčastěji voda respektive vodný roztok), a plynná fáze (nejčastěji vzduch). Jednotlivé fáze spolu dohromady tvoří celek a výsledek flotace je dán kombinací všech dějů, které v těchto fázích probíhají.

2.1.1 Pevná fáze

Základním prvkem ovlivňujícím vlastnosti pevné fáze je krystalická mřížka. Ta přímo ovlivňuje fyzikální a fyzikálně-chemické vlastnosti zrna, respektive jeho povrchu, a tím pádem přímé ovlivnění flotovatelnosti. V teoretické rovině, kdyby krystalická mřížka byla bez poruchy a výsledný povrchový náboj by byl neutrální, jednalo by se o dokonale hydrofobní povrch.

Reálný krystal o objemu 1 mm^3 obsahuje zhruba 10^{21} stavebních částic (Kmeť, 1992). Při takovém množství částic není možné se vyvarovat poruchám: izomorfickému zastupování částic (iontů), mikrotrhlinám atd. To vede k narušení povrchu a tím i k tvorbě elektrochemické nerovnoměrnosti (povrch již není neutrální, ale má náboj). Obrázek 3 graficky znázorňuje elektrochemickou nerovnoměrnost minerálního povrchu.



Obrázek 3 Elektrochemická nerovnoměrnost minerálního povrchu upraveno dle (Kmeť, 1992)

Elektrochemická nerovnoměrnost vede k nerovnoměrnému rozložení náboje, a tím i různé adsorpční aktivitě a kapacitě. To v důsledku znamená, že různá místa budou nerovnoměrně pokryty flotačními činidly (či ionty z flotačního činidla) a na další místa se činidla málo či vůbec neadsorbují (Kmeť, 1992).

2.1.2 Kapalná fáze

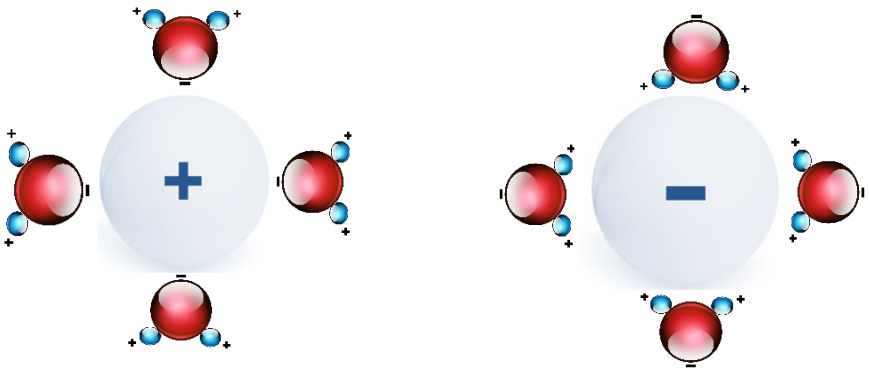
Kapalná fáze je nejčastěji tvořená vodou. Voda není pouze prostředí, ve kterém se proces flotace odehrává, ale aktivně se na něm podílí.

Stavba molekuly vody a důsledky

Molekula vody je složená z atomu kyslíku a dvou atomů vodíků v tetraedrickém uspořádání (obrázek 4). Výsledná molekula vody má díky tomuto uspořádání dipólový charakter (kladný a záporný pól).

Obrázek 4 Schematické znázornění molekuly vody včetně elektrických pólů

Díky dipólovému charakteru jsou schopné se jednotlivé molekuly vody spojovat v řetězce. Dipól umožňuje adsorpci na povrch s nábojem, což je klíčová vlastnost pro flotační proces. Látky s povrchovým nábojem na sebe adsorbují molekulu vody s opačným pólem, než samy mají. V takovém případě se bavíme o látkách hydrofilních. Naopak látky hydrofobní jsou na povrchu neutrální a molekula vody s dipólovým charakterem se nemá jak adsorbovat (Maréchal, 2007).



Obrázek 5 Schéma iontové hydratace

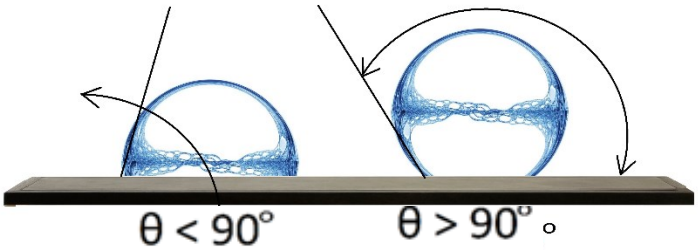
Dipólový charakter vody vede k hydrataci iontů (obalení iontu příslušným pólem molekuly vody obrázek 5). Voda tedy výborně rozpouští iontové sloučeniny. Toto rozpuštění nastává, když hydratační energie (energie závislá na rozměrech a náboji iontů) je větší než energie držící daný iont v strukturní mřížce. (Jursík, 2001). Právě výsledek těchto procesů způsobí ovlivnění povrchu flotovaného materiálu (minerálu) a mění tak jeho flotační vlastnosti. Může způsobit reakci hydratovaných iontů s flotačními činidly za vzniku nerozpustných sloučenin (toto vede k velké spotřebě flotačních činidel a malé účinnosti flotace) (Kmeť, 1992).

2.1.3 Plynná fáze

Plyn je důležitou součástí flotačního procesu. Často se používá vzduch, ale pro specifické účely lze použít kyslík, sulfan, oxid siřičitý… Vzduch obsahuje kyslík a oxid uhličitý, tyto plyny se podílí na flotačním procesu. Kyslík díky své oxidační schopnosti oxiduje povrch materiálu a tím ovlivňuje rozpustnost. Další z možnosti ovlivnění flotace je sloučení plynu (oxid uhličitý, oxid siřičitý) s vodou za vzniku kyseliny uhličité, kyseliny siřičité (Kmeť, 1992).

Úhel smáčení

Vzduchové bubliny, které plní funkci nosiče, se spojují s hydrofobním povrchem zrna flotovaného materiálu a jsou vynášeny vzhůru k hladině. Jak voda z povrchu vytěsní či nevytěsní bublinu vzduchu je dáno úhlem smáčení, jehož zjednodušený princip je na obrázku 5. Základní pravidlo určuje, že pokud je úhel menší jak 90° (ostrý), tak se jedná o částečně hydrofilní povrch, ve kterém voda vytěsňuje plyn. Při úhlu 0° se jedná o absolutně hydrofilní povrch, kde kapalina dokonale vytěsní vzduch. Pokud bude úhel smáčení větší jak 90° (tupý), tak je povrch částečně hydrofobní a plyn vytlačuje vodu. Pod úhlem 180° se jedná o absolutně hydrofobní povrch, kde plyn dokonale vytěsní kapalinu z povrchu (Kmeť, 1992).



Obrázek 6 Úhel smáčení sběračů upraveno dle (Fázové rozhraní, 2011)

Na hladině se díky flotačním činidlům vytváří stabilní pěna, která tyto zrna udrží nad hladinou do té doby, než jsou odstraněna (například mechanicky pomocí stěrky).

2.2 Flotační činidla

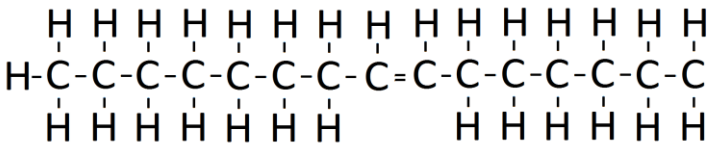
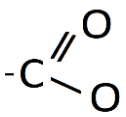
Činidla jsou velice důležitou součástí flotačního procesu spolu s dostatečným otevřením zrna a správným provzdušněním. Činidla jsou schopna upravit základní prvky flotačního procesu (změna povrchové energie na fázovém rozhraní: pevná látka – kapalina a kapalina – plyn). Toto způsobuje změny od tvorby pěny až po změnu povrchu flotovaného materiálu (Bulatovic, 2007). Změny pak mají za následek selektivnost flotačního procesu (Kmeť, 1992). Flotační činidla lze rozdělit dle jejích funkcí. Rozdělení není striktní, protože některá činidla mohou plnit více funkcí zároveň. Proto se jednotlivé hranice rozdělení mnohdy stírají.

Základní rozdělení flotačních činidel je na sběrače, pěniče a regulátory.

2.3 Sběrače

Sběrače jsou organické látky, u kterých je struktura molekuly rozdělena na polární a nepolární část (Kmeť, 1992). Nepolární část molekuly, která je tvořená uhlovodíkovým zbytkem s klíčovou vlastností, je hydrofobní. Naopak polární skupina má vlastnosti opačné. Tabulka 2 popisuje strukturu typického ionogenního sběrače oleátu sodného.

Tabulka 2 Strukturní vzorec oleátu sodného upraveno dle (Bulatovič, 2007)

		— Na^+
Celá molekula		
Nepolární skupina Hydrofobní skupina Uhlovodíková skupina	Polární skupina	
	Solidofilní	Hydrofilní
Anion		Kationt

Glembocki a Plaksin charakterizují sběrače do dvou základních kategorií (Glembocki, 1964):

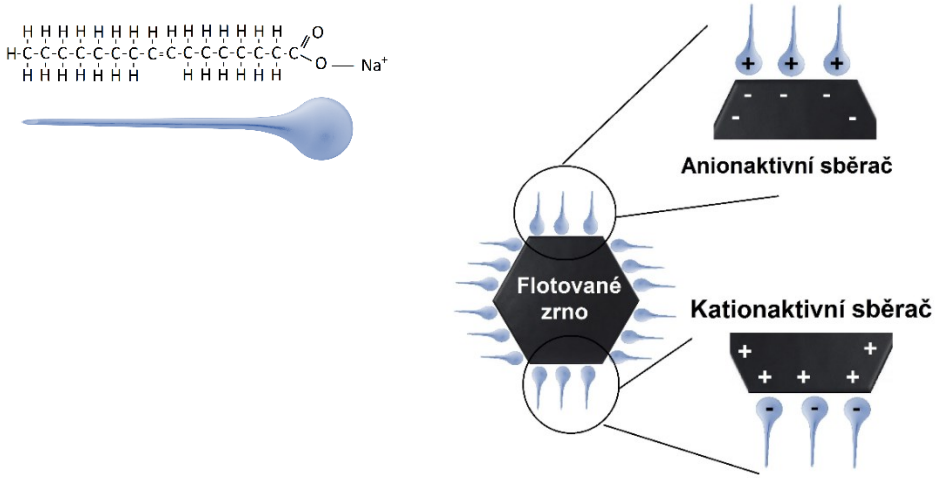
- Ionogenní sběrače obsahující iontové části, které disociují ve vodním prostředí na ionty
- Neionogenní sběrače obsahující nepolární části (uhlovodíkové části), která jsou nerozpustné ve vodě

Ionogenní sběrače se dále dělí na (Bulatovic, 2007; Kmeť, 1992):

- Anionaktivní, kde polární skupina má kladný náboj a adsorbuje se na povrch s kladným nábojem
- Kationaktivní, kde polární skupina má záporný náboj a adsorbuje se na povrch s kladným nábojem

2.3.1 Ionogenní sběrače

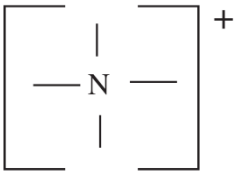
Schematické zobrazení funkce iontových sběračů, rozdělní polárních skupin a jejich adsorpci na povrchu zrna je na obrázku 7. Na tomto obrázku lze vidět, že se sběrače adsorbují na povrch minerálu a obalí zrno hydrofobní částí molekuly. Tak se povrch zrna jeví jako hydrofobní a tím flotovatelný.



Obrázek 7 Schematické působení ionogenních sběračů

Kationaktivní sběrače

Kationaktivní sběrače jsou ionogenní sběrače s kationtem v polární skupině, které se adsorbují na povrchy s kladným nábojem. Kationt v polární skupině je tvořen dusíkem v přítomnosti nepárových elektronů, struktura je zobrazen na obrázku 8 (Bulatovic, 2007). Množství připojených uhlovodíkových řetězců na dusík určuje flotační charakteristiku a zda se jedná o primární, sekundární či terciární amin.



Obrázek 8 Dusíkatá skupina v kationaktivní sběračích upraveno dle (Bulatovic, 2007)

Tyto sloučeniny ve vodném roztoku disociují a vzniká heteropolární kationt navázaný na nepolární uhlovodíkový řetězec. Dle počtu uhlíku v nepolárním řetězci rozlišujeme užití ve flotaci. Aminy s počtem uhlíku v řetězci 12 až 13 lze použít pro flotaci oxidovaných zinkových minerálů, s počtem uhlíků v řetězci 16 až 18 na flotaci silikátů a křemene. (Kmeť, 1992)

2.3.2 Neinonogenní sběrače

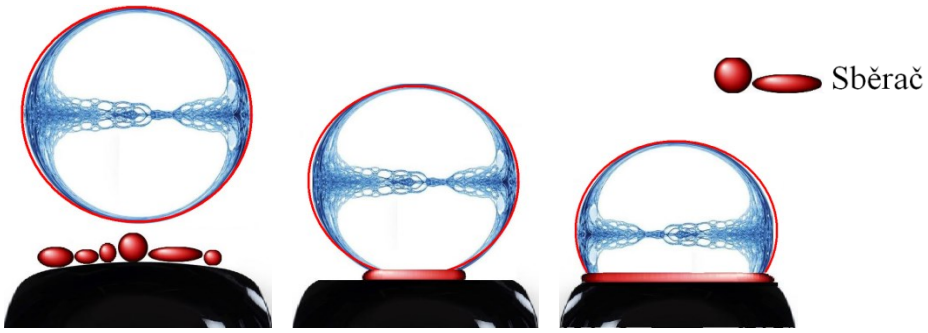
Neinonogenní či nepolární sběrače jsou látky, které nedisociují do iontové formy nebo jsou nerozpustné ve vodě (neinteragují s dipóly vody). Jelikož nepolární skupiny neobsahují solidifikační skupinu, molekuly se nijak neorientují a nevytváří orientovanou adsorpční vrstvu. (Bulatovic, 2007)

Termodynamický předpoklad adsorpce nepolárních sběračů na minerální povrch s různým stupněm polarity je takový, že se vážou na základě energie trojfázového prostředí (výsledná mezifázová energie na povrchu rozhraní olej – voda, olej – minerál a minerál –

voda). Výsledky ukazují, že čím je menší náboj (polarita) na povrchu zrna, tím je větší množství nepolárního sběrače. (Kmeť, 1992)

Jedná se o kapalné uhlovodíky, které jsou získávány úpravou ropy (frakční destilace atd.) či z uhlí (zkapalňováním). Reakční činidla z této skupiny nemají přesně definovanou chemickou strukturu. To je z důvodu rozdílného charakteru ropy či uhlí, z kterého je získáváme. Jejich využití při flotaci je omezené na minerály přirozeně hydrofobní: například elementární síra, grafit, některé případy molybdenu, černé uhlí… (Bulatovic, 2007)

Na obrázku 9a) lze vidět bublinu vzduchu obalenou emulgovaným olejem a různé uskupení nepolárního sběrače na povrchu minerálu. Obrázek 9 b) ukazuje slívání nepolárního sběrače a na obrázku 9 c) je již samotný třífázový kontakt. (Kmeť, 1992)



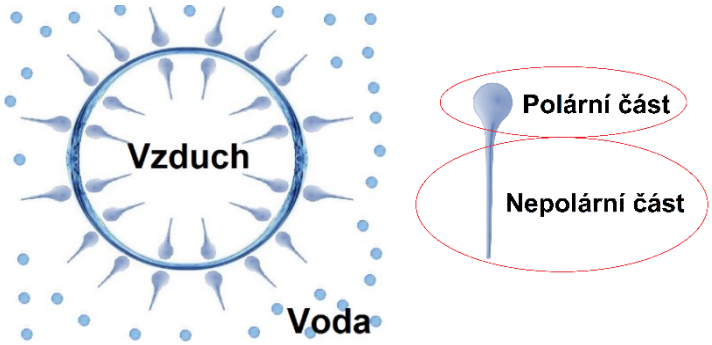
a) b) c)

Obrázek 9 Schematické zobrazení vzniku trojfázového kontaktu (pomocí olejové vrstvičky) upraveno dle (Kmeť, 1992)

Nejvíce rozšířenými nepolárními sběrači jsou kerosin, transformátorové oleje a syntetické uhlovodíkové oleje. (Bulatovic, 2007)

2.4 Pěniče

Pěniče jsou látky, které snižují povrchové napětí na rozhraní kapalné a plynné fáze. Mají schopnost lépe rozptýlit vzduchové bubliny ve flotačním prostředí, změnit rychlost vzestupného pohybu bublin, upravit strukturní a mechanické vlastnosti povrchu bublin, což vede k ovlivnění pevnosti a stability pěny, kde se nacházejí minerální zrna. (Kmeť, 1992)



Obrázek 10 Orientace molekuly pěniče na rozhraní voda – vzduch (bublina vzduch)

Pěniče jsou heteropolární povrchově aktivní látky obsahující polární skupinu, která je aktivní oproti vodě. Nejčastěji jsou tvořeny skupinami: –OH, =C=O, –COOH, $–NH_2$, $–OSO_3$, $–SO_2OH$ (Kmeť, 1992). Dále obsahují i nepolární skupinu tvořenou uhlovodíkovým radikálem, který je aktivní vůči vzduchu. Molekuly pěniče jsou schopny se natočit v rozhraní vzduch – voda tak, že polární skupina je orientována do kapalné fáze (voda) a nepolární skupina (uhlovodíkový řetězec) do plynné fáze (vzduch). Tímto pěnič vytváří samonosnou pěnu. Podstata vzniku pěny je taková, že pěnič obalí bublinu a tím zabrání kolizi či dotyku s ostatními bublinami. (Bulatovic, 2007)

3. Uranové rudy, charakteristika a technologie úpravy

Tato kapitola se bude věnovat popisu uranových rud, způsobům těžby a procesu jejich úpravy ve světě a v České republice. Možnosti úpravy uranové rudy se budou lišit v návaznosti na vznik samotného ložiska, podmínky panující při vzniku uranového zrudnění a proces těžby.

3.1 Uranová ruda a její základní geochemické vlastnosti

Prvek uran nepatří k vzácně se vyskytujícím prvkům. Naopak je poměrně široce zastoupený v zemské kůře. Jeho průměrný obsah v zemské kůře je od 2 do 4 ppm (partes per milion). Tato koncentrace odpovídá průměrnému výskytu například molybdenu, beryllia či cínu (Uranium, 2014). A dokonce má vyšší zastoupení v zemské kůře než stříbro, rtuť či bismut. Průměrný výskyt těchto prvků je v zemské kůře kolem 2,7 ppm. (Gupta, 2003)

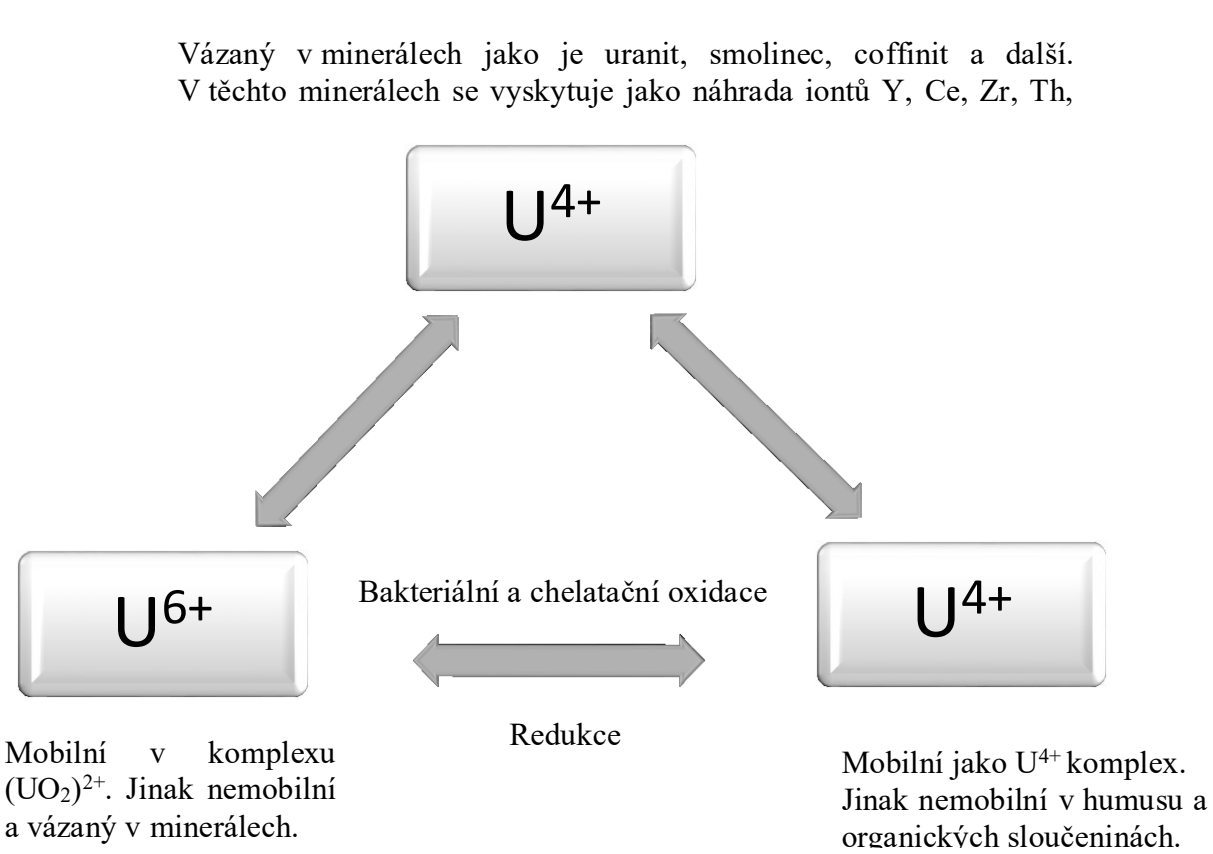
Uran se vyskytuje i v mořské vodě a lze ho získávat z oceánských vod, kde je zastoupen v malých koncentracích, ale v obrovském množství. (Uranium, 2014). Prvek uran byl prvně objeven německým chemikem Martinem Klaprothem v roce 1789 ve smolinci a je pojmenovaný po planetě Uran. Uran na naší planetě vznikl pravděpodobně před 6,6 miliardy lety pří výbuchu supernovy. Jeho pomalý radioaktivní rozpad je hlavním zdrojem tepla v ně naší planety (způsobuje konvekční proudy a pohyb litosférických desek). (Gupta, 2003)

<u>Geochemický cyklus uranu:</u>

Uran je prvek, který se poměrně často vyskytuje v tavenině křemičitanů v zemské kůře a v části zemského pláště (Hore-Lacy, 2016). Uran se v přírodě vyskytuje vždy v kombinaci s kyslíkem. Uran se vyskytuje ve válečných stavech 2, 3, 4, 5 a 6, ovšem z geochemického pohledu je důležitý redukovaný stav U^{4+} a oxidovaný stav U^{6+}. (Gupta, 2003)
Oxidační stav U^{4+} je stabilní za panujících redukčních podmínek. Za zvyšujícího se oxidačního potenciálu, přechází do oxidačního stupně U^{6+}. Změna oxidačního stavu vede ke změně rozpustnosti ve vodě z nerozpustné formy U^{4+} na rozpustnou U^{6+}, která během rozpouštění tvoří iontový uranylový komplex $(U^{6+}O_2)^{2+}$(Finsch, 1990). Právě tyto přirozené vlastnosti dvou valenčních stavů patří k nejdůležitějším geochemickým vlastnostem. Toto střídání rozpustnosti a nerozpustnosti (více na obrázku 11) v závislosti na oxidačně redukčním prostředí vede k tvorbě různorodých typů nalezišť a je hlavní příčinou vzniku velkého

množství uranových minerálů. V dnešní době rozeznáváme více jak 245 minerálů (Mineral Species sorted by the element U Uranium, 2014) obsahující uran ve svém chemickém složení. (Gupta, 2003)

Geochemický cyklus kopíruje charakter petrogenetické evoluce zemské kůry. Uranové rudy se vyskytují ve všech třech základních přírodních geochemických cyklech (sedimentární, magmatické a metamorfované horniny) (Hore-Lacy, 2016). Změny jednoho druhu do druhého jsou znázorněny na obrázku 12.



Obrázek 11 **Změny oxidačního stavu uranu** (Gupta, 2003)

První fází jsou endogenní magmatické procesy, sekundární fáze obsahuje stádium vnějších sedimentačních procesů a terciální fází je metamorfóza. (Gupta, 2003)

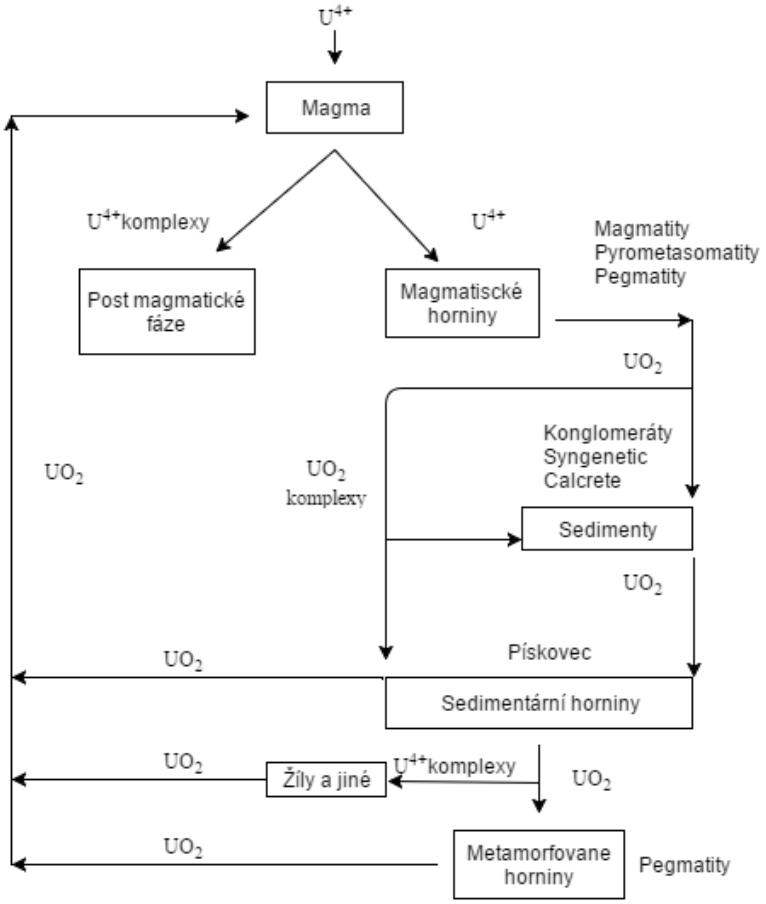
Dle výskytu rozeznáváme pojmy jako přirozený výskyt uranu a uranové ložisko. Přirozený výskyt popisuje rozptýlený uran v objemu zemského pláště a zemské kůry (Hore-Lacy, 2016). Pojem uranové ložisko popisuje místo s velkým výskytem minerálů obsahujícím uran. Právě tyto uranová ložiska lze využít k zisku uranu. Hornina mající takové vlastnosti a koncentraci uranu, že je vhodná k těžbě (buď samostatně či v kombinaci s jiným prvkem), je označována jako uranová ruda. (Gupta, 2003)

Existuje pouze malé množství minerálů (z celkového podílu minerálů obsahujících ve svém chemickém složení uran), jenž lze nazvat uranovou rudou. Minerálů, kde je uran majoritní složka, je daleko méně. Mezi nejdůležitější minerály pro těžbu uranu patří uraninit UO_2,

coffinit $(U,Th)[(SiO_4)_{1-x|(}OH)_{4x}]$ (který je také důležitý jako zdroj thoria), autunit $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10\text{-}12\ H_2O$, torbernit $(Cu_2(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8\text{-}12\ H_2O$, carnotit $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3\ H_2O$ a ťujamunit $(Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 5\text{-}8\ H_2O)$. (Starý a kol., 2009)

Obecně minerály obsahující uran v takové kombinaci s jinými prvky, že je neekonomické ho extrahovat či samotný minerál postrádá důležité vlastnosti nutné pro extrakci, by se neměly nazývat uranovou rudou. Z těchto definic vyplývá, že naleziště minerálů s obsahem uranu, které dnes nelze nazvat uranovou rudou (či ložiskem uranové rudy), se jím v budoucnosti může stát. (Gupta, 2003)

Jedním z důvodů proč je tak malé množství uranových ložisek je, že většina uranových minerálů v pegmatitech je žáruvzdorná a uran se z nich špatně extrahuje. Extrakce je složitá, protože je zde uran v kombinaci, kdy je náročné narušit chemickou vazbu, ve které je vázán. I když je obsah uranu v těchto žáruvzdorných minerálech třeba i 50%, nelze v tomto případě dnes mluvit o uranové rudě, protože je neekonomické ji těžit a upravovat s dosavadní technikou. (Gupta, 2003)



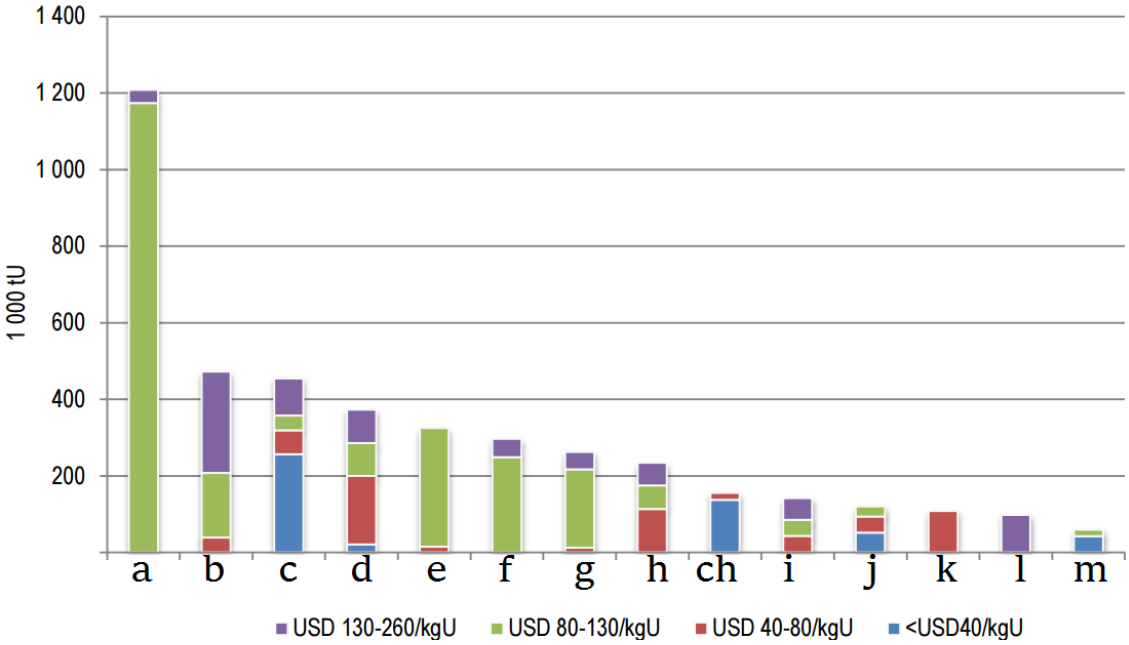
Obrázek 12 Geochemický cyklus uranu (Gupta, 2003)

3.2 Celosvětové zásoby uranu

Tato kapitola se bude věnovat celosvětovým zásobám uranu a možnosti jeho produkce.

3.2.1 Identifikace zdrojů

Uranové zdroje lze rozdělit do dvou základních typů: zdroje zajištěné (anglicky reasonably assured resources (RAR)) a zdroje odvozené anglicky (inferred resources (IR)). RAR ložiska mají již vymezenou plochu a zrnitost. Údaje o velikost naleziště jsou podloženy odebranými vzorky a měřením. Tato ložiska jsou prokazatelně schopná těžby a zpracování suroviny současnou technologií. Ložiska IR jsou ostatní. Do této kategorie spadají ložiska, o kterých se předpokládá na základě všech dostupných informací (geologických, geochemických…), že se zde ložisko bude nacházet (na základě podobných trendů jako v existujících ložiscích). A o ložiscích, o kterých se již ví, ale nebyla provedena podrobná měření, která by vedla k přesnějším údajům nutných ke klasifikaci do RAR kategorie. Přehled zemí s největšími zásobami uranu spadající do kategorie RAR je na obrázku 13. (IAEA, 1998)



Obrázek 13 Množství RAR uranových zásob (OECD NEA & IAEA, 2014)

a-Austrálie, b-USA, c-Kanada, d-Kazachstán, f-Niger, g- Rusko, h-Jižní Afrika, ch- Brazílie, i-Ukrajina, j-Čína, k-Mongolsko, l-Indie, m-Uzbekistán

Dále naleziště uranových rud dělíme dle ekonomičnosti těžby. Na ložiska, kde k vytěžení jednoho kilogramu uranu je za potřebí méně jak 260 dolarů (<USD 260/kgU), 130 dolarů za kilogram uranu (<USD 130/kgU), 80 dolarů za kilogram uranu (<USD 80/kgU) a 40 dolarů za kilogram uranu (<USD 40/kgU). Cena za vytěžený uran je hlavní podmínkou o rozhodování, zda těžit či netěžit. (IAEA, 1998) V tabulce 3 jsou porovnány změny v množství ložisek uranu v návaznosti na jejich klasifikaci. (OECD NEA & IAEA, 2014)

Tabulka 3 Změna v množství zásob uranu (OECD NEA & IAEA, 2014)

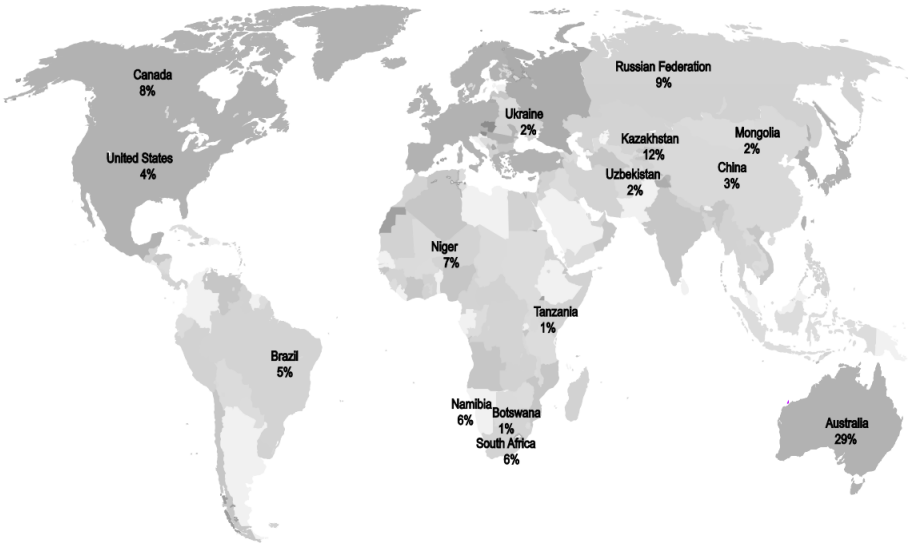
Kategorie zdroje	2011 (1000 tU)	2013 (1000 tU)	Změna (1000 tU)	Změna (%)
<USD 260/kgU	7 096.6	7 635.2	538.6	7.6
<USD 130/kgU	5 327.2	5 902.9	575.7	10.8
<USD 80/kgU	3 078.5	1 956.7	1 121.8	-36.4
<USD 40/kgU	680.9	682.9	2.0	0.3

Lze zde pozorovat nárůst množství uranové suroviny o 7,6. % v kategorii ekonomičnosti těžby do 260 dolarů za kilogram uranu. Příčinou navýšení ložisek uranu je přehodnocení známých nalezišť minerálů obsahujících uran a také snaha prodloužení těžby a úpravy uranové rudy (například formou hledání nových zdrojů uranu). Navýšení zásob uranových zdrojů bylo hlášeno z Austrálie, Kanady, Centrální Afriky, Číny, Slovenské republiky, České republiky, Grónska, Indie, Kazachstánu, Mongolska, Ruska, Jižní Afriky, Tanzanie a Zambie. Největší nárůst zásob uranu byl hlášen z České republiky, Grónska a Mongolska. (OECD NEA & IAEA, 2014)

V zásobách uranu, jejichž ekonomičnost je pod 130 dolarů za kilogram, došlo k navýšení o 10,8 %. Tato změna je způsobena jednak přehodnocením dosavadních zásob, jako v případě ložisek s ekonomičností do 260 dolarů za kilogram uranu, a také vlivem přesunu ložisek z menší kategorie <USD 80/kgU do <USD 130/kgU (IAEA, 1998) (zejména v Austrálii, Namibii, Jižní Africe a Rusku). (OECD NEA & IAEA, 2014)

Pokles 36,4 % u kategorie <USD 80/kgU je následek tohoto přesunu. U kategorie <USD 40/kgU došlo k malému navýšení. Výjimkou v této kategorii je Kazachstán, který deklaroval navýšení množství uranu v ložiskách kategorie <USD 40/kgU o více jak 88% mezi lety 2011 až 2013. (OECD NEA & IAEA, 2014)

Největší zdroje uranu na planetě má Austrálie s 29% v kategorii <USD 130/kgU a 24% v kategorii <USD 260/kgU. Na druhém místě je Kazachstán se zhruba 12 % od obou kategorii jako Austrálie. Obrázek 14 zobrazuje rozmístění zásob uranu spadající do kategorie <USD 130/kgU. (OECD NEA & IAEA, 2014)



Obrázek 14 Rozmístění nalezišť uranu <USD 130/kgU (OECD NEA & IAEA, 2014)

3.2.2 Geologické rozložení zdrojů uranu

Geologické rozdělení zásob RAR je vyobrazeno v tabulce 4. Z tabulky vyplývá, že nejvíce zásob (<USD 40/kgU) spadá do kategorie proterozoikum (formovány zhruba před 2,5 miliardy let). Tyto zásoby se nacházejí v největší míře v Kanadě. (OECD NEA & IAEA, 2014)

Pro zásoby <USD 80/kgU je patrné, že se nacházejí převážně v pískovcích. Hlavně na území Kazachstánu, Nigeru a USA (proto se v Kazachstánu těží uran především loužením in situ ze sedimentů, viz kapitola celosvětová těžba). Naleziště klasifikované do skupiny <USD 130/kgU se nacházejí převážně v pískovcích a polymetalických konkrecích, stejně jako skupina <USD 260/kgU. (OECD NEA & IAEA, 2014)

Tabulka 4 Geologické rozložené RAR nalezišť (OECD NEA & IAEA, 2014)

Typ naleziště	**<USD 40/kgU (t)**	**<USD 80/kgU (t)**	**<USD 130/kgU (t)**	**<USD 260/kgU (t)**
Vulkanické	0	34 082	139 695	164 913
Pískovec	96 553	511 153	1 165 707	1 467 697
Polymetalické konkrece	0	0	942 300	943 000
Křemenný konglomerát	0	113 034	169 536	231 303
Granit	17 800	40 100	46 670	82 984

Metamorfity	0	2 802	8 332	34 879
Intruzivní	0	0	198 879	268 940
Metasomatické	65 900	101 848	285 958	410 886
Povrchové	0	0	110 108	140 154
Karbonátové	0	0	0	40 304
Fosfátové	53 200	53 200	94 000	94 000
Nespecifikované	17 787	36 464	74 443	139 120
Proterozoikum	256 160	318 917	463 272	569 120
Celkem	507 400	507 400	3 698 900	4 587 200

Ložiska uranové rudy po celém světě se nacházejí v různých geologických prostředích, jak je patrné z tabulky 4. Proto další text bude věnován jednotlivým ložiskům.

Pískovce s obsahem uranu:

Uran se zde nachází v podobě vrstev a čoček v arkózových pískovcích a slepencích. Hlavní užitkové minerály jsou carnotit, ťujamunit a uranit. Obsah uranu v podobě U_3O_8 je zhruba od 0,1 až do 1 %. Tyto ložiska jsou například: Colorado Plateau (USA), Shaba (Kongo - Zair) a v České republice jsou zastoupeny ložisky Stráž pod Ralskem, Hamr, Osečná (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Konglomeráty (častý výskyt stříbra společně s uranem):

Uranové zrudnění je přítomno ve vrstvách oligomiktních slepenců. Užitkové minerály jsou v těchto ložiskách zastoupeny uranitem, thoritem a branneritem. Uran je zde zastoupen v rozmezí 0,02-0,34 % ve formě U_3O_8. Typickým příkladem těchto ložisek jsou Witwatersrand (JAR) a Blind River. (OECD NEA & IAEA., 2009)

Ložiska hydrotermálního původu:

Lze je rozdělit dle formací vyskytujících se v tělese ložiska. Ve všech formacích se uranové zrudnění vyskytuje v žílách, žilných zónách a ve vtroušeninovém zrudnění. Obsah uranu ve formě U_3O_8 je v těchto ložiscích okolo 0,1-2 %. (OECD NEA & IAEA., 2009)

Ve formaci uranu, křemene a karbonátů se vyskytují užitkové minerály uranit, coffinit a brannerit. Ve světě je příkladem ložiska Beaverlodge (Kanada). V České republice jsou tato ložiska Příbram, Rožná-Olší, Zadní Chodov a Zálesí. (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009) **Právě z tohoto typu ložiska pochází i námi zkoumaný vzorek (konkrétně z ložiska Rožná-Olší).**

Ve formaci uranu a sulfidů je užitkový minerál převážně zastoupen coffinitem a uranitem. Ve světě se tato ložiska nacházejí hlavně v USA, Kanadě a Mexiku. V České republice jsou to ložiska Damětice a Ustaleč (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Ve formaci pětiprvkové (Ag-Bi-Co-Ni-U) je užitkový minerál nejčastěji zastoupen uranitem a ložiska ve světě jsou v Eldoradu (Kanada), Schneebergu a Annabergu (Německo). V České republice se jedná o ložiska na Jáchymovsku a v Horním Slavkově (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Ve formacích uranu a titanu se jako užitkový minerál vyskytuje davidit a brannerit. Ve světě jsou tato ložiska například v Radium Hill (Austrálie) a Tete (Mosambik) (OECD NEA & IAEA., 2009).

Ložiska metasomatitů:

V metasomatitech se obvykle koncentrace uranu v užitkových minerálech pohybuje v rozmezí 0,1-0,3 % U_3O_8. V kombinaci uranu a skarnu se uran vyskytuje nepravidelně a je zde zastoupen převážně v minerálech davidit, thorianit a uranit. Ložiska ve světě jsou Mary Kathleen (Austálie) a Bancroft (OECD NEA & IAEA., 2009)

V kombinaci uranu a albitu se uranové zrudnění vyskytuje lineárně v albitech a užitkové minerály jsou převážně coffinit, uranit a brannerit. Ložiska ve světě jsou Itataia (Brazílie) v České republice se jedná o ložisko Okrouhlá Radouň (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009)

V kombinaci uranu a granitoidů je uranové zrudnění ve vtroušeninách a žílách. Užitkové minerály jsou thorit, uranit a zirkon. Ložiska tohoto typu jsou Ross-Adams (Aljaška, USA) a Rössing (Namibie). (OECD NEA & IAEA., 2009)

V alkalických stratifikovaných masivech se uran vyskytuje v stratiformních vtroušeninách. Účelové minerály jsou zde zastoupeny převážně loparitem, pyrochlorem a thoritem. Tyto ložiska se nacházejí v pol. Kola (Rusko) a komplexu Ilimaussag (Grónsko). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Uran – pegmatitové ložiska:

Uranové zrudnění je vázáno na hnízda na okraji kamenných jader žil. Užitkové minerály jsou zde zastoupeny uranitem, thorianitem a thoritem. Koncentrace U_3O_8 je v rozmezí 0,1-1 %. Tyto ložiska lze nalézt v Ytterby (Švédsko) a Kragerö (Norsko). V České republice se vyskytují ve Vlastějovicích (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Ložiska infiltrační ve vápencích:

Uranové zrudnění se zde vyskytuje v karbonátových krustách v korytech toků v aridních oblastech. Užitkové minerály jsou zastoupeny carnotitem a ťujamunitem. Koncentrace uranu je zde maximálně 0,4 % U_3O_8. Tyto ložiska lze nalézt v Yeelirrie (Austrálie), Mudug (Somálsko), Rössing (Namibie). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Klaustobiolity s příměsí uranu:

Přítomnost uranového zrudnění je v epigeneticky mineralizovaných slojích se zastoupením užitkových minerálů převážně v podobě coffinitu, torbenitu a carnotitu. Koncentrace uranu se pohybuje maximálně. 0,2 % U_3O_8. Tento typ ložisek je ve Willistonské pánvi (Jižní Dakota a Montana, USA). V České republice je naleziště v Dolnoslezské pánvi (důl Stachanov-Kateřina) a v Sokolovské pánvi – Hroznětín (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Černé břidlice:

Přítomnost uranového zrudnění je vázána na stratiformní tělesa. Zde se obsah uranu pohybuje maximálně do 0,04 % U_3O_8. Naleziště toho typu lze najít ve formaci Chattanooga (Tennessee, USA). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Fosfátová ložiska:

Uranové zrudnění je zde rovněž vázáno ve stratiformních tělesech, obsah uranu pohybuje maximálně do 0,03 % U_3O_8 komplexu. Naleziště jsou formace Phosphoria (Idaho, Montana, Utah a Nevada, USA), Maroko. (OECD NEA & IAEA., 2009)

Uran-thoriové rozsypy:

Uranové zrudnění se vykytuje v aluviálních, plážových a fosilních rýžovištích. Užitkové minerály jsou zde zastoupeny monazitem, zirkonem, pyrochorem, thoritem… Koncentrace U_3O_8 komplexu a ThO_2 jsou 0,4% a 11% v 2,5 kg monazitu. 2,5 kg monazitu je obsaženo zhruba v m^3 písku. Ložiska tohoto typu se nachází v Severní a Jižní Karolíně (USA), Pravobrežnoje (Ukrajina). V České republice je lze nalézt v Majdalence okolo řeky Lužnice (Starý a kol., 2009). (OECD NEA & IAEA., 2009)

Na obrázku 15 je jemnozrnný černý coffinit, který se nachází v uranovém ložisku Rožná, důl Jasan, 18. patro, blok 3ZK-1837. Velikost výřezu 4×3 cm.

Obrázek 15 Jemnozrnný černý coffinit (Sbírka J. Pařízka, 2006)

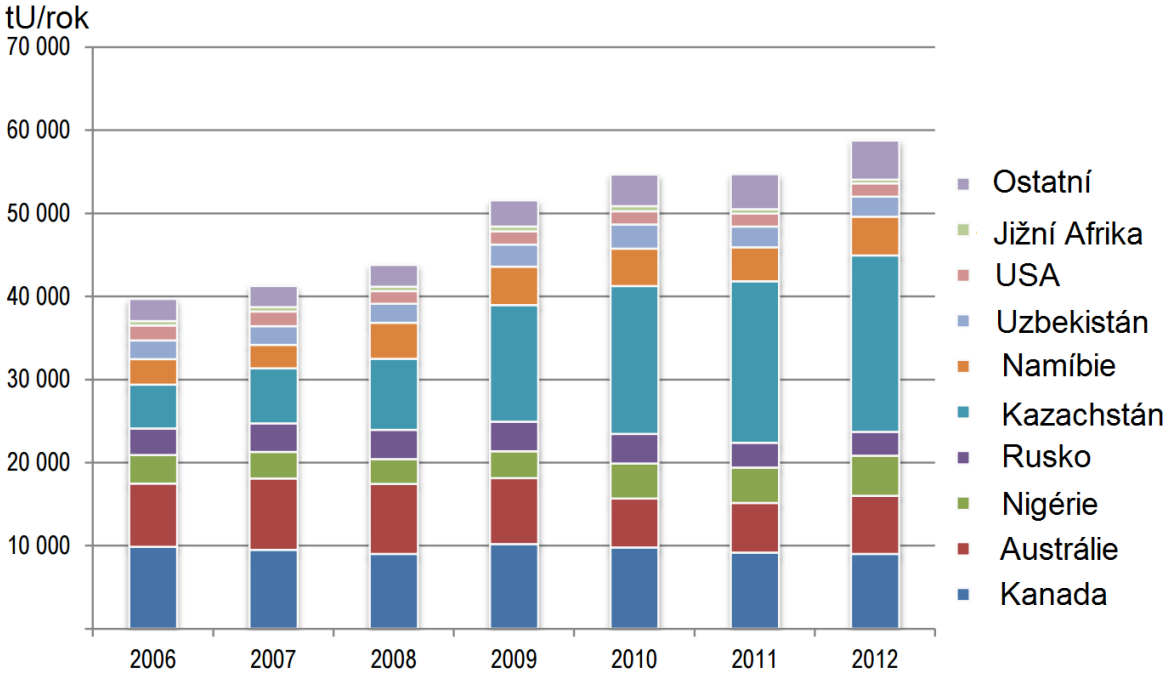
Na obrázku 16 je ledvinitý agregát uraninitu v kalcitu. Rudní revír Rožná-Olší. Šířka vzorku 12 cm.

Obrázek 16 Ledvinitý agregát uraninitu v kalcitu (Sbírky Geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, foto J. Jirásek, 2004)

3.3 Celosvětová těžba

Za posledních 60 let se z uranu stal nejdůležitější minerál užívaný k energetickým účelům. Toto využití vedlo k navýšení jeho těžby v minulých dekádách. (Uranium Mining Overview, 2014)

Bližší informace o množství vyprodukovaného uranu v ostatních zemích udává obrázek 17.



Obrázek 17 Množství vyprodukovaného uranu celosvětově (OECD NEA & IAEA, 2014)

V dnešní době je většina vytěženého uranu užita k výrobě elektrické energie. Do této skupiny lze zařadit uran potřebný pro chod jaderných reaktorů, sloužící k pohonu ponorek, lodí a jiných prostředků. V menším zastoupení je využití uranu k tvorbě radioizotopů užívaných v průmyslu a hlavně v medicíně (Uranium Mining Overview, 2014). V minimálním zastoupení se některé uranové minerály využívají k barvení skla. Uran je díky své vysoké hustotě používán jako povrchová úprava projektilů a v neposlední řadě jako součást vyvažovacích mechanismů (letadla, lodní trupy…).

V rocích 2011, 2012 a 2013 těžilo uran 21 zemí (pokud do této skupiny počítáme také Německo, Maďarsko a Franci, které produkují menší množství uranu jako vedlejší produkt vznikající při remediačních pracích v dolech). Největším producentem uranu je v současnosti Kazachstán, který v roce 2012 vyprodukoval 20 981 tun uranu. To je větší množství uranu, něž vyprodukují dohromady Kanada a Austrálie, které jsou na druhém a třetím místě v produkci. (OECD NEA & IAEA, 2014)

V roce 2014 bylo zhruba dvacet zemí, ve kterých se uran těží a 54% z veškeré produkce uranu na planetě pochází pouze z deseti dolů v šesti zemích světa (více v tabulce 5). (Uranium Mining Overview, 2014)

Většina uranových ložisek, která jsou těžena doly z tabulky 5, mají průměrný obsah uranu v hornině 0,1%, což je 1000 ppm (Uranium Mining Overview, 2014). V počátcích uranové těžby se tato koncentrace zdála jako velice bohatá, ale dnes se podíl uranu v rudě v některých kanadských dolech blíží i 20%. Ostatní doly mohou úspěšně těžit i horniny s nižším obsahem uranu okolo 0,02% (Uranium Mining Overview, 2014). Uran je také možno těžit v kombinaci s jinými prvky. Například v Australském dole Olympic Dam je uran získáván jako doprovodný produkt při těžbě a zpracování mědi. V Jižní Africe je uran získáván při těžbě zlatonosných minerálů a v Maroku či Floridě je zisk uranu spojen s těžbou fosfátových ložisek (Merkel, 2008). Právě toto spojení vede k těžení hornin s nízkým obsahem uranu, protože je spolu s ním získávána i jiná surovina. V praxi to znamená, že nutná těžící technika je sdílena a cena za druhý produkt může kompenzovat jinak menší ekonomičnost těžby uranové rudy. (Uranium Mining Overview, 2014)

Těžba uranu není rozdílná od ostatních druhů rud, dokud není obsah uranu v hornině velice vysoký. V tomto případě jsou nutná speciální zařízení, která redukují prašnost (v extrémních případech je nutné dálkově ovládaný těžební sytém). Dále je nutné omezit dobu, po kterou jsou pracovníci vystaveni radioaktivnímu záření a zabezpečit bezpečnost okolních obyvatel a ekosystému. (Uranium Mining Overview, 2014)

Proces vyhledávání uranových ložisek je v porovnání s ostatními minerály daleko snadnější. Z důvodu přítomnosti radioaktivního záření, které se uvolňuje z rozpadu uranu, ho lze detekovat ze vzduchu (pokud není ložisko odstíněno například velkou hloubkou či rozsáhlým horninovým masivem) (Merkel, 2008). (Uranium Mining Overview, 2014)

Tabulka 5 Přehled největších uranových dolů v roce 2014 (Uranium Mining Overview, 2014)

Důl	**Země**	**Hlavní vlastník**	**Typ dolu**	**Produkce 2014 (t)**	**Podíl (%)**
McArthur River	Kanada	Cameco	Podzemní	7356	13
Tortkuduk & Moinkum	Kazachstán	Katco JV/Areva, Kazatomprom	Loužení in Situ	4322	8
Olympic Dam	Austrálie	BHP Billiton	Podzemní	3351	6
SOMAIR	Niger	Areva	Otevřený důl	2331	5
Budenovskoye 2	Kazachstán	Karatau JV/Kazatomprom	Loužení in Situ	2084	4
South Inkai	Kazachstán	Betpak Dala JV/Uranium One, Kazatomprom	Loužení in Situ	2002	4
Priagunsky	Rusko	ARMZ	Podzemní	1970	4
Langer Heinrich	Namibie	Paladin	Otevřený důl	1947	4
Inkai	Kazachstán	Inkai JV/Cameco, Kazatomprom	Loužení in Situ	1922	3
Central Mynkuduk	Kazachstán	JSC Ken Dala, Kazatomprom	Loužení in Situ	1790	3
Celkově				**29075**	**54**

3.4 Stav uranové těžby dle států

Kazachstán

Kazachstán je důležitým zdrojem uranu víc jak 50 let. Objevování uranu zde začalo již v roce 1948 a jeho zásoby byly objeveny na více jak 50 nalezištích po celé zemi. Někdy jsou tato území nazývána uranové provincie. Do roku 1970 byly všechny doly zaměřeny na podzemní těžbu. Po tomto roce byla úspěšně otestována těžba pomocí in situ loužení (používáno též na území České republiky). Od té doby je dnes více jak 72% všech ložisek těženo metodou kyselého loužení in situ, protože je zde množství ložisek sedimentárních a téhle těžbě vyhovují. Rozšíření těžby touto metodou vyneslo Kazachstán mezi roky 2001 a 2010 na první místo v těžbě uranu na světě, které si stále drží. (Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan, 2016)

Tabulka 6 Množství vyprodukovaného uranu (Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan, 2016)

Rok	Množství vyprodukovaného uranu (t)	Rok	Množství vyprodukovaného uranu (t)	Rok	Množství vyprodukovaného uranu (t)
2001	2022	2006	5281	2011	19450
2002	2709	2007	6637	2012	21317
2003	2946	2008	8521	2013	22548
2004	3712	2009	14020	2014	22829
2005	4362	2010	17803	2015	23800

Kanada

Na kanadském území se nachází zhruba 8% veškerých zdrojů uranu na planetě, ale v produkci uranu zaujímá druhé místo za Kazachstánem (Uranium Mining Overview, 2014). Velká část uranových dolů je situovaná v Athabasca Basin v severním Saskečuanu. Některé zde těžená naleziště obsahují enormní koncentraci uranu v rudě (až 100krát větší než je průměrný celosvětový výskyt). Další kanadská naleziště v Nunavut, Ontariu, Quebecu a v Severních teritoriích nejsou těžena vůbec. (Uranium mining - Canadian Nuclear Association., 2014)

Některá naleziště se nacházejí blízko povrchu a lze je těžit v otevřeném dole. Jiná naleziště se nacházejí ve větších hloubkách (důl Cigar Lake s hloubkou 450 metrů či McClean Lake s hloubkou 600 metrů) (OECD NEA & IAEA, 2014) a jsou těženy hlubinným způsobem. (Uranium mining - Canadian Nuclear Association., 2014)

Souhrn dolů a množství vytěženého materiálu udává tabulka 7

Tabulka 7 Kanadské uranové doly (Uranium mining - Canadian Nuclear Association., 2014)

Naleziště	**Metoda těžby**	**Tuny (U_3O_8)**	**KONCENTRACE uranu (%)**
Cigar Lake	Podzemní	216,700	18.3
Key Lake	Otevřený důl	700	0,5
McArthur River	Podzemní	378,900	16.9
McClean Lake	Otevřený důl, podzemí	16,200	2.2
Midwest	Otevřený důl	5,800	1.7
Rabbit Lake	Podzemní	22,800	0.7

Austrálie

Po roce 1960 začal intenzivní průzkum Australského kontinentu. Tyto průzkumy odhalily velké zásoby zdrojů uranu. V začátcích roku 1970 bylo objeveno velké množství nalezišť zejména v Severních teritoriích (Ranger, Jabiluka, Nabarlek…), dále na západní části Austrálie (Yeelirrie) a na jižní části (Olympic Dam). (Australia's Uranium, 2014)

Tabulka 8 Množství vyprodukovaného uranu v tunách U_3O_8 (Australia's Uranium, 2014)

Důl	**2006 až 2007**	**2007 až 2008**	**2008 až 2009**	**2009 až 2010**	**2010 až 2011**	**2011 až 2012**	**2012 až 2013**	**2013 až 2014**	**2014 až 2015**
Ranger	5256	5273	5678	4262	2677	3284	4313	1113	2044
Olympic Dam	3474	4115	3974	2258	4012	3853	4064	3988	3144
Beverly	847	707	626	630	347	413	453	188	0
Four Mile							0	186	922
Honeymoon	0		0	0	0	151	124	37	0
Celkem	9577	10095	10278	7150	7036	7701	8954	5512	6110

Dnes je Austrálie třetím největším producentem uranu na světě za Kazachstánem a Kanadou. Nachází se zde tři funkční uranové doly Ranger (otevřený důl), Olympic Dam (hlubinný důl – uran je zde těžen společně s mědí) a Four Mile (hlubinný důl). Důl Beverly (hlubinný důl) byl

uzavřen v roce 2014 a důl Honeymoon (těžba pomoci in situ loužení) taktéž. Tabulka 8 udává množství vyprodukovaného uranu v jednotlivých rocích v tunách U_3O_8. (Australia's Uranium, 2014)

USA

Americké uranové doly vyprodukovaly v roce 2014 o 7% tun U_3O_8 více jak v roce 2013. Toto množství pochází ze 7 dolů těžících pomocí in situ loužení, dvou podzemích dolů a jedné úpravny (více v tabulce 9). Úpravna White Mesa se nachází v Utahu a in situ loužící doly (Alta Mesa Project, Crow Butte Operation, Hobson ISR Plant/La Palangana, Lost Creek Project, Nichols Ranch ISR Project, Smith RanchHighland Operation, and Willow Creek Project) se nachází na území států Nebraska, Texas a Wyoming. (Energy Information, 2014)

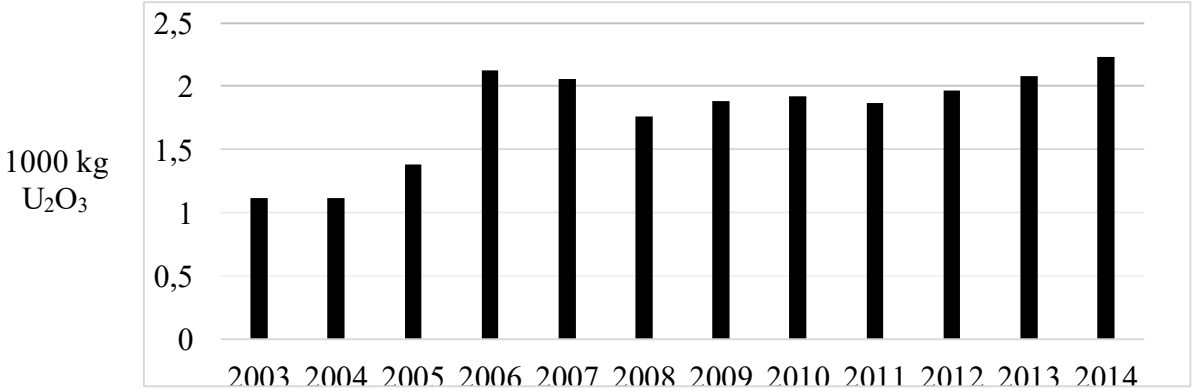
Tabulka 9 Množství dolů těžící uran v USA (Energy Information Administration, 2014)

[1] Ostatní instituce jako jsou vodní mlýny, zbytky po čištění zařízení, zdroje pocházející z remedeačních pracích v uzavřených dolech…

Rok	Druh dolu				
	Podzemní	**Otevřený**	**In situ loužení**	**Ostaní[1]**	**Celkem**
2003	1	0	2	1	4
2004	2	0	3	1	6
2005	4	0	4	2	10
2006	5	0	5	1	11
2007	6	0	5	1	12
2008	10	0	6	1	17
2009	14	0	4	2	20
2010	4	0	4	1	9
2011	5	0	5	1	11
2012	6	0	5	1	12
2013	3	0	7	2	12
2014	2	0	8	1	11

Přehled o celkovém množství zařízení fungující v těžebním průmyslu poskytuje tabulka 10.

Tabulka 10 Vyprodukované množství U_3O_8 v USA v roce 2014 (Energy Information, 2014)



3.5 Způsoby těžby uranové rudy

Způsob těžby je závislý na parametrech ložiska. Primárně na hloubce ložiska, obsahu částic uranu v minerálu, jak je chemicky uran v minerálu vázán, na hydrogeologii oblasti a geotechnických aspektech obklopujících uranové zrudnění (IAEA, 2009). Lze také přidružit odpovídající bezpečnost, která je závislá na koncentraci uranové složky v minerálu. Například u některých kanadských dolů je nutnost těžby pomocí dálkově ovládaných vrtných souprav. Obecně lze říci, že existují základní dva typy těžby uranové rudy. První je klasická těžba (ať již v povrchovém či podzemním dole) a chemické loužení ložisek uranové rudy in situ. (8th International scientific conference sgem 2008,2008)

Pro rozhodování zda těžit povrchově či podzemní metodou je důležité sumarizovat náklady vzniklé na tunu vytěžené rudy pro oba typy (The National Academie, 2012). Pokud je jedna z metod levnější na tunu vytěžené rudy, tak se obvykle zvolí levnější varianta. Neexistuje žádná determinovaná hloubka, od které se odvíjí, zda se bude těžit povrchovou či podzemní metodou (IAEA, 2009). Kritická hloubka pro výběr těžby ložiska se odvíjí od poměru množství odstranění skrývky (+ odpadního materiálu), parametrů rudy, pracovního úhlu náklonu (working slope angle), množství uranové rudy, extrakčních metod, životnosti dolu a v neposlední řadě možnostech jeho rekultivace. (8th International scientific conference sgem 2008,2008)

3.5.1 Parametry ložiska uranové rudy

Tato kapitola popisuje parametry ložiska, které je nutno definovat pro rozhodování o způsobu těžby.

<u>Lokalizace ložiska:</u>

Fyzická lokalizace ložiska, zjištění majitele půdy nad ložiskem či vlastník ložiska jsou základní informace, od kterých se odvíjí těžící metoda. Geografická poloha naleziště a hustota osídlení v okolí ložiska mohou velice zásadně ovlivnit způsob těžby a upřednostnit jeden způsob před druhým. Například naleziště uranové rudy, které se nacházejí pod povrchovou vodou (jezera, řeky…), mohou být logicky těžena buď podzemní metodou či s jistým omezením loužením in situ (nutnost izolovat ložisko pro případ úniku loužicího média). Totéž platí i pro místa s velkou hustotou obyvatelstva, kde by hrozilo vlivem velké prašnosti či nedostatku místa, navýšení finančních prostředků nutných pro těžbu povrchovou (IAEA, 2010).

Země s rozsáhlou geografickou rozlohou (Austrálie, Kanada) či malou zalidněností (Kazachstán) mají v tomto výhodu. Doly jsou často budovány v odlehlých místech, kde žádné přímé ohrožení obyvatel nehrozí. Opačným případem může být například Česká republika, která je geograficky malá a hustota obyvatel vysoká. Proto je budováním uranových dolů či rozsáhlých projektů (otevírání nových dolů či budování trvalého úložiště použitého jaderného paliva…) problematičtější.

Je nutno dojít ke kompromisu mezi ekonomičností těžby a environmetálními riziky. Nezanedbatelnou roli zde hrají státní orgány, které ke kompromisu musí dojít (Báňský úřad…), jednotlivé státní složky a samozřejmě subjekt, který chce uranovou rudu těžit. V tomto stádiu je rozhodování spíše politického, něž ekonomického charakteru (IAEA, 2010).

Geometrie ložiska:

Geometrické vlastnosti (tvar) ložiska jsou určeny geologickými a geofyzikálními technologiemi zahrnujícími odběry povrchových i podzemních vzorků. V neposlední řadě radiometrickým průzkumem. Tyto techniky nám pomáhají určit tvar ložiska. I když může být tvar ložiska nepravidelný, je obvykle možno těžit všemi třemi metodami a výběr způsobu těžby se odvíjí od jiných vlastností (IAEA, 2010).

Velikost ložiska:

Je nutno stanovit kvalitu a množství těženého materiálů k určení nejefektivnějšího a nejekonomičtějšího způsobu těžby. Je potřebné disponovat přesnými údaji k výpočtu objemu, tonáže a zrnitosti ložiska. Tato data se získávají převážně povrchovými vrty a pro hlubší naleziště radiometrickými metodami či odběry vzorků u povrchových zlomových anomálií (IAEA, 2010).

Hloubka ložiska:

Samotná hloubka ložiska je obvykle určena povrchovými vrty. Hloubka ložiska obvykle napomáhá k rozhodnutí jakou metodu zvolit. Někdy je ložisko těženo více metodami a časem může přecházet od jedné těžby k druhé, protože s postupující hloubkou se parametry pro ekonomičnost mohou měnit. Při zvolení podzemní těžby jsou klíčovými parametry náklady na stavbu podzemní části dolu (délka nutných šachet a množství úrovní těžby) k docílení maximální efektivnosti a ekonomičnosti (IAEA, 2010).

Geotektonika:

Geotechnická data jsou získávána mapováním povrchu a povrchovými vrty, které definují vlastnosti a mateční horninu asociovanou s ložiskem. Na základě těchto metod je také posuzován způsob těžby a vyčísleny náklady nutné na vybavení a pracovní sílu. Toto je významný faktor ovlivňující náklady na těžbu ložiska. Tato data jsou rozhodující pro zvolení těžby metodou loužení in situ, tak i pro těžbu klasickými metodami (IAEA, 2010).

Mineralogie:

Mineralogie ložiska je extrémně důležitá pro výběr metody zpracování uranové rudy a její úpravy. Z některých minerálů obsahujících uran je poměrně obtížné ho extrahovat či je jeho koncentrace v extraktu minimální. Výskyt uranu v takových nalezištích vylučuje použití metody loužení in situ (IAEA, 2010).

Hydrologie:

Přítomnost vody ovlivňuje možnosti těžby. V prostředí bez výskytu vody je obtížnější užití metod těžby pomocí in situ loužení. V prostředí s velkou vlhkostí je nutné stanovit propustnost (m^3/h) a pórovitost mateční horniny. Propustnost a pórovitost jsou základními informacemi pro těžbu metodou loužení in situ, stejně jako pro podzemní či povrchovou těžbu. Čím více vody je nutné odčerpávat pomocí odvodňovacích vrtů a užití více vodních čerpadel k udržení vyhovujícího stavu vody v ložisku, tím rostou i náklady na těžbu. (IAEA, 2010).

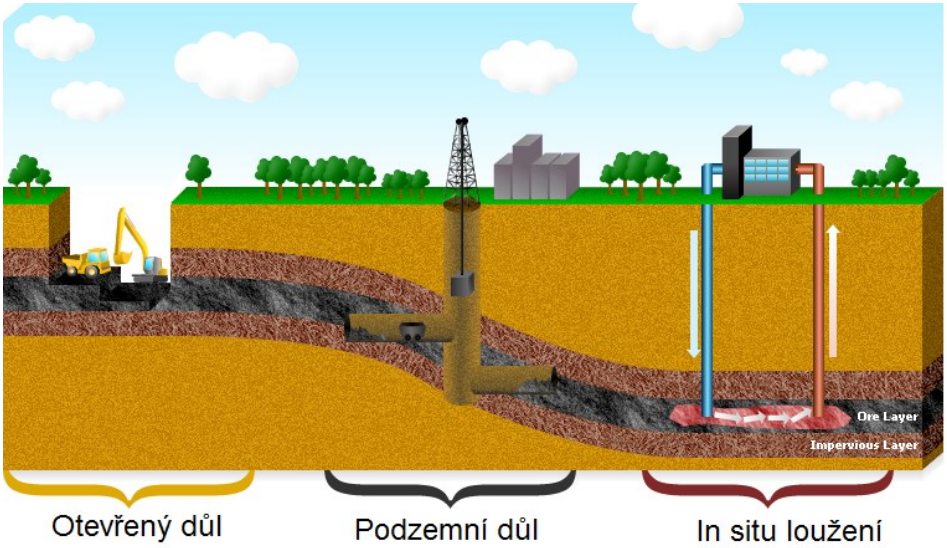
V mnohých případech začíná těžba povrchově po definování jejich nákladů. Přesáhnou-li náklady povrchové těžby náklady na těžbu podzemní, dojde ke změně těžby. Každé ložisko je specifické a má jiné vlastnosti (The National Academie, 2012). Záleží na posouzení a zkušenostech pracovníků, kteří jsou schopni odhadnout jakému nalezišti (kde již těžba probíhá) je naleziště podobné a podle toho rozhodnout způsob těžby. (8th International scientific conference sgem 2008,2008)

Povrchová těžba je efektivnější než podzemní (z důvodu menší energetické spotřeby nutné k těžbě a přesunu těženého materiálu, menších nákladů na těžbu, trhacích prací nutných k těžbě materiálu, možnosti užití větších zařízení určených k dopravě těženého materiálu, díky menšímu omezení přepravních tras a větší rychlosti dopravních prostředků a celkově z většího prostoru pro pohyb těžebního zařízení). Všechny tyto parametry zlevňují těžbu oproti podzemní variantě. Geologická symetrie ložiska je kritickým parametrem, který ovlivňuje cenu u povrchové i podzemní těžby (IAEA, 2009). (8th international scientific conference sgem 2008,2008)

Povrchová těžba je efektivnější díky menším ztrátám na užitkové složce těženého materiálu. U otevřeného dolu jsou průměrné ztráty okolo 5%, zatímco u klasické šachtové těžby zůstane průměrně 40% užitkové složky nevytěženo (projeveno jako ztráty). (8th International scientific conference sgem 2008,2008)

Pro povrchovou těžbu je kritické množství hlušiny na tunu těžené rudy, které přímo souvisí s tvarem naleziště a topografií povrchu. Dále je nutné počítat s faktory u povrchové těžby jako poruchy v podloží (zlomy), pevnost horniny, hladina podzemní vody, klimatické podmínky… Tyto parametry ovlivňují chování materiálu dolu (The National Academie, 2012). Stěny povrchového dolu zajišťují stabilitu, hloubku dolu a přímo ovlivňují cenu vytěženého materiálu. (8th International scientific conference sgem 2008,2008)

Je nutno vzít v úvahu všechny zde zmíněné parametry a nezapomenou na pozdější řádnou rekultivaci. Podle všech těchto podmínek zvolit nejvhodnější způsob těžby. (8th International scientific conference sgem 2008,2008) Obrázek 18 ukazuje základní rozdělení druhů těžby.



Obrázek 18 Základní rozdělní těžby uranu (Mining and Milling, 2010)

3.5.2 Otevřený důl

Otevřené doly jsou limitovány mocností skrývky, kterou je nutno odstranit k dosažení ložiska. Jsou zde užity tradiční těžební procesy pro otevřené doly, ale je nutné instalovat monitorovací zařízení a v případě nutnosti i ochranné vybavení pro minimalizaci radioaktivního záření. (IAEA, 2000)

V případě, že uranová ruda je zastoupena více jak 1%, je obvykle nutné vybavit nakladače a přepravní vozidla stíněním pro zmenšení dávky radioaktivního záření, kterou by obdržela lidská obsluha. Je nutné monitorovat nejen samotnou těžební jámu, ale i skladiště uranové rudy, testovat vzduch v okolí na přítomnost radonu a v neposlední řadě v případě nutnosti zavést takové postupy a zařízení, která budou redukovat množství prachu v ovzduší. (IAEA, 2000)

Kontrola povrchových vod a jejich usměrňování hraje klíčovou roli ve funkci otevřeného dolu, v případě uranového dolu platí totéž. Navíc je nutné takové vody před vypuštěním do okolí upravovat, aby neohrozily prostředí radioaktivním zářením (Uranium mining - Canadian Nuclear Association, 2014). Právě toto upravování a nakládání s vodami kontaminovanými radionuklidy vede k značným výdajům. Ke snížení objemu těchto vod jsou instalovány zábrany, které zamezují vstupu vod do oblasti těžební jámy. Tento proces obnáší vrtání studní okolo dolu a čerpání vody před tím, než dojde ke kontaktu s uranovými minerály (Uranium mining - Canadian Nuclear Association, 2014). Nebo lze utěsnit vyskytující se vodní plochy pomocí cementových a chemických zábran. (IAEA, 2000)

Otevřený důl vyžaduje velkou plochu, kam lze umístit skrývku a hlušinu. Rovněž při ukládání hlušiny musí být tyto plochy uzpůsobeny tak, aby případné vodní průsaky byly zachyceny a řádně zpracovány. (Uranium — How Is It Mined?, 2014) Na obrázku 19 je otevřený kanadský důl McClean Lake.

Obrázek 19 Důl McClean Lake (Uranium mining - Canadian Nuclear Association, 2014)

3.5.3 Podzemní důl

Podzemní těžba uranu vyžaduje stejné základní vybavení jako podzemní těžba jiných rud. Je nutné vytvořit přístup k ložisku rudy a k její samotné těžbě. Vytěžená ruda je následně transportována na povrch a poslána do prostoru úpravny. Zde je drcena a extrahována účelová složka (v našem případě uranová složka). (Conventional mining and milling of uranium ore, 2014)

Metoda těžby zahrnuje vrtání svislých šachet skrz povrch, které propojují povrch s podzemním ložiskem. V sedimentárních ložiscích se nejvíce aplikuje metoda těžby Room and pillar, kde se v těženém prostoru nechávají pilíře nevytěžené horniny. Tyto pilíře pak působí jako podpora a výztuž těžebního prostoru. Pro zlepšení stability těženého prostoru jsou do šachet navrtávány ocelové šrouby, které pomáhají udržet stabilitu prostředí. V namáhaných částech dolu jsou spojovány do rámců pro zabezpečení stability. (Conventional mining and milling of uranium ore, 2014)

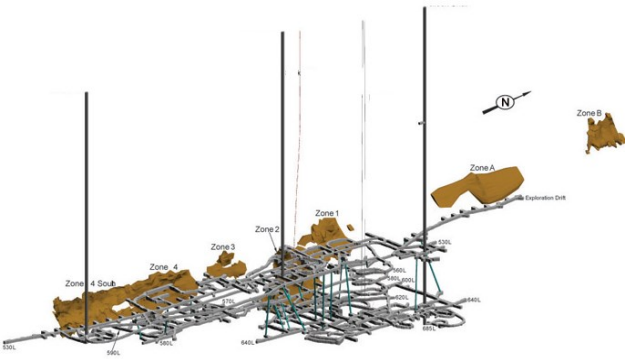
Každé ložisko a s ním i každý důl jsou unikátní spolu s podmínkami panujícími v podzemí. Podmínky jsou ovlivněny přítomností či naopak absencí podzemní vody, geometrií a orientací zrudnění… Všechny tyto vlastnosti musí být zhodnoceny při navrhování dolu. (Conventional mining and milling of uranium ore, 2014)

Na povrchu dolu se obvykle vyskytují zařízení obsahující kancelářské prostory, sklady, údržbářské prostory, energetické zařízení, větrací zařízení, pumpy a místa na odkládání hlušiny. Vytěžená hlušina je ukládána na povrchu a její množství je daleko menší než ve srovnání s otevřeným dolem, kde je nutné odstranit všechny nadložní vrstvy k dosažení ložiska. Dnes panuje trend, kdy hlušina není ukládána na povrch, ale je zpětně transportována a slouží jako výplň vytěžených podzemních částí. (Conventional mining and milling of uranium ore, 2014)

Na rozdíl od povrchového dolu je důraz u hlubinné těžby kladen na ventilaci. V případě uranových rud je tento problém výraznější. (Conventional mining and milling of uranium ore, 2014)

Ventilační systém musí být upraven, aby se snížilo riziko plynoucí se zacházením s radioaktivními materiály. Musí být splněny hygienické normy pro pracovníky (nutnost garantovat maximální dávku radioaktivního záření, které může být pracovník vystaven - více vyhláška 307/2002 Sb. § 20 - Limity pro radiační pracovníky). Proto je ventilační systém jedním ze základních prvků uranového dolu (IAEA, 2000). Je nutné velkého množství vzduchu pro zředění a tím odstranění či snížení nebezpečnosti prostředí. Radiace pochází z radonu a z prachových částic ve vzduchu, které obsahují radioaktivní látky. Proto je nutné vzduch v prostředí pracovních míst konstantě měnit, aby nedošlo k akumulaci radioaktivity vedoucí ke zvýšení radiační zátěže. Z těchto důvodů musí být podzemní části dolu spojeny s povrchem pomocí větrácích šachet a tunelů. (IAEA, 2000)

Další z překážek je podzemní voda, která může působit jako médium pro transport plynů (radon) a při kontaktu s uranovou rudou může dojít k transportu radioaktivních prvků do vody. Rozpuštěný radon v důlní vodě (která je pod tlakem) se uvolní při změně (snížení) tlaku v rámci čerpání vod na povrch. Tento jev popisuje Henryho zákon, který dává do souvislosti parciální tlak nad kapalinou a množství plynu, jenž lze v kapalině rozpustit. Hladina radiace pak může stoupnout na extrémní hodnotu, pokud je velké množství vody v potrubí naráz transportováno na povrch a dojde k prudké změně tlaku. Voda může narušovat samotnou rudu a okolní horniny, které se tak stávají nestabilní. V některých pískovcových nalezištích je praxe taková, že se hloubí speciální odvodňovací tunely, aby se voda nedostala do prostoru těžby. (IAEA, 2000). Obrázek 20 ukazuje schéma kanadského dolu McArthur Rive, hnědě jsou vyznačeny ložiska.



Obrázek 20 Schéma dolu McArthur River (Mcarthur River/Key Lake, 2011)

3.5.4 Loužení metodou in situ

Klasické metody těžby popsané výše zahrnují odtěžení rudy, její následná drcení a separaci účelových složek. Loužení in situ představuje alternativu k těmto těžebním postupům. Podstata metody spočívá v tom, že není potřeba rudu těžit, ale může se ponechat na původním místě. Jako rozpouštědlo je často používaná voda přímo z ložiska, která je obohacena o

komplexotvorné činidlo a ve většině případů ještě oxidant. Výsledné rozpouštědlo je pumpováno do ložiska, kde dochází k loužení. Obohacený roztok je pumpován zpět na povrch, kde se jednotlivé složky separují velice podobným procesem jako v úpravně, kde se zpracovávají rudy z podzemní a povrchové těžby (In Situ Leach (ISL) Mining of Uranium, 2014).

Loužená složka musí být přístupná pro loužicí médium. Proto musí povrch rudy obsahovat zlomy a poruchy, kterými se loužicí roztok dostane k rudě (ložisko musí být propustné pro rozpouštědlo). Výhodou této metody je, že vzniká jen minimální množství hlušiny, ale je nutné zabránit kontaminaci spodních vod loužícím roztokem (In Situ Leach (ISL) Mining of Uranium, 2014).

V Australských dolech (Beverley, Four Mile, a Honeymoon) je jako oxidant používán peroxid vodíku a jako komplexotvorné činidlo kyselina sírová. V dolech v Kazachstánu není obecně používán žádný oxidant, ale využívá se většího množství koncentrovanější kyseliny sírové. V USA jsou obvykle používána alkalická komplexotvorná činidla, protože jsou zde přítomny minerály, které spotřebovávají velké množství kyseliny sírové (tento jev se týká i této práce, která se snaží tuto problematiku řešit při loužení uranových rud v chemické úpravně). V USA se jedná hlavně o sádrovec a vápenec (v našem případě o kalcit a dolomit). I několika procentní zastoupení karbonátů v loužené rudě znamená použití alkalického loužení, aby nebyla spotřeba kyselého loužicího média vysoká a neekonomická (In Situ Leach (ISL) Mining of Uranium, 2014).

Ložiska uranu vhodná pro in situ loužení jsou tvořena prostupným pískem či pískovcem, který je z horní i dolní strany obklopen nepropustnou horninou a ložisko se vyskytuje pod hladinou spodní vody. Taková ložiska vznikají, když proudění podzemní vody obsahuje oxidovaný uranový minerál a dojde k snížení obsahu kyslíku a tím ke změně redukčně-oxidačního prostředí. Uranovým minerálem je v tomto případě uranit (oxid) či coffinitový (silikátový) povlak na jednotlivých pískových zrnech.

Kyselé loužení je účinnější jak alkalické. Jeho účinek se pohybuje v rozmezí 70 až 90%. U alkalického je účinek mezi 50 – 60% (více v kapitole Technologie úpravy uranové rudy) (In Situ Leach (ISL) Mining of Uranium, 2014).

V roce 2013 bylo 47% světové těžby uranu vytěženo pomocí in situ loužení. Největším producentem uranu pomocí loužení je Kazachstán, USA a Uzbekistán. Další země jako Austrálie, Čína či Rusko budou výhledově zvětšovat těžbu právě tímto způsobem, hlavně díky menším ekonomickým výdajům (při uhlídání bezpečnosti) v porovnání s povrchovou či podzemní těžbou méně bohatých rud (In Situ Leach (ISL) Mining of Uranium, 2014).

3.6 Sekundární produkce uranu

Zisk uranu ze sekundárních zdrojů je zhruba 11000 tun ročně. Hlavními zdroji uranu z netěžební sféry je uran zbylí ze zlikvidovaných jaderných hlavic (USA a Ruska). Od

roku 2000 je zhruba 13% světového trhu s uranem pokryto z bývalého armádního materiálu (Uranium Mining Overview, 2014).

3.7 Úprava uranové rudy

Vytěžená ruda s obsahem uranu je zpracovávána převážně hydrometalurgicky. Jedná se především o proces loužení a následné separace uranu z výluhu po loužení. Loužení vyžaduje úpravu suroviny tak, aby došlo k rozpojení jednotlivých složek. Z takto rozdružené horniny lze odseparovat nevyhovující složky (uhličitany, sírany…). Takto upravená ruda je podrobena loužení. Používá se jak loužení v kyselém prostředí, tak v prostředí alkalickém (používáno v prostorách chemické úpravny). (Kalas, 2013; Gibson at al., 2015)

V případě kyselého loužení je loužicí roztok převážně tvořen kyselinou sírovou. V případě alkalického loužení (karbonátového) se používají roztoky uhličitanu sodného. Volba druhu loužení závisí na charakteru příměsi v rudnině. Užití karbonátových roztoků má především tu výhodu, že jsou vysoce selektivní k samotnému uranu. Aby se projevily tyto dobré vlastnosti alkalického loužení, je nutné podstatně většího stupně odkrytí povrchu uranového minerálu. Nutnost většího odkrytí vede k intenzivnějšímu drcení a mletí, což má za následek vyšší náklady na energii. Pokud je odkrytí nedostatečné dochází k ztrátám uranu (velká část neuranových minerálů není alkalickými roztoky rozpouštěna). (Stránský, 2008)

Naopak při kyselém loužení stačí i menší odkrytí uranového minerálu, protože kyselina sírová je agresivní a je schopna jalové složky rozpustit na rozdíl od karbonátového loužicího činidla. Kyselé loužení se používá především k loužení rud s jemně rozptýlenými primárními uranovými minerály (uranit). Již zmíněná důležitost příměsí vede k výběru loužicích činidel. Typickým příkladem je užití kyseliny sírové. Její množství (a tím cena) je nejvíce ovlivňována právě přítomností karbonátů (dolomit, kalcit, siderit…), protože značné množství kyseliny sírové je potřebné na reakce s karbonáty a zanedbatelné procento na loužení uranových minerálů. Toto je dáno daleko větším zastoupením karbonátu v rudnině, něž samotného uranu. Dále spotřebu kyseliny sírové ovlivňuje přítomnost aluminosilikátů. Při užití kyseliny sírové uran přechází do roztoku hlavně ve formě uranyldisulfátového anionu $[UO_2(SO_4)_2]^{2-}$ (Hydrochemická těžba uranu, 2013). (Kalas, 2013)

Obdobný problém nastává u alkalického loužení. Zde má největší vliv na množství loužicího média přítomnost minerálů obsahující síru (Kalas, 2013; Liu at al., 2004).

Z důvodu šetření loužicích roztoků je například v dole Niobec (poblíž města St. Honoré) v Kanadě, před procesem loužení předřazena flotace karbonátů. (Gibson at al., 2015)

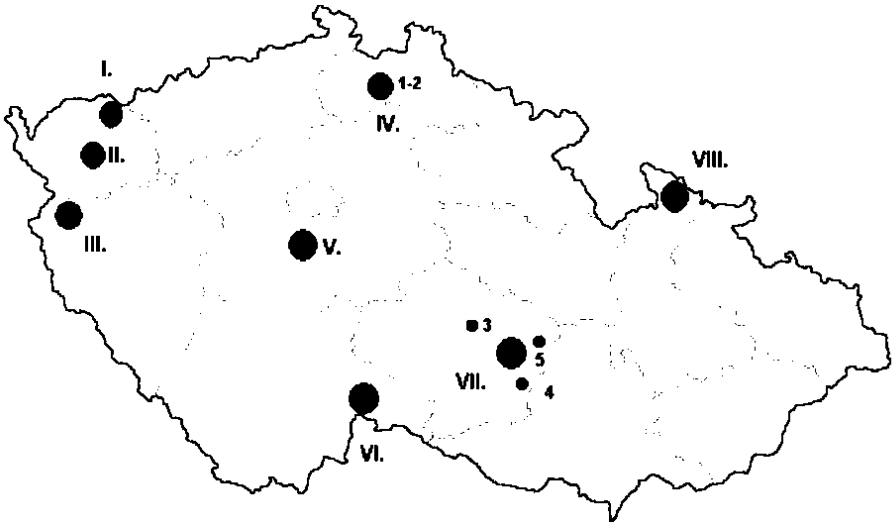
4. Těžba a úprava rudy v ČR

Těžba samotného uranu u nás byla zahájena v Jáchymovském dole. Postupem času byla objevena další ložiska menšího rozsahu. Jejich seznam lze vidět na obrázku 21. (Uranovy dul KHB (Rožna I.), 2012)

V letech 1946–1956 došlo k navýšení produkce uranu díky těžbě nalezišť v Příbrami a Horním Slavkově. Maximální objem těžby 3036 tuny uranu byl dosažen ke konci 50. let. Od počátku 60. let se těžba ustálila na zhruba 2700 tunách uranu ročně. Po roce 1989, kdy došlo k vyhlášení útlumového programu, poklesla těžba během 5 let na pouhých 600 tun za rok. V současnosti se těžba pohybuje okolo 150 tun uranu za rok. Těchto 150 tun je tvořeno z podzemního dolu, který těží ložisko Rožná a z čištění technologických roztoků z ložiska Stráž (těženo pomocí in situ loužení). (Těžba | DIAMO, státní podnik, 2016)

Lokality

Na našem území je nalezeno 164 ložisek s výskytem uranové rudy a 66 z nich bylo těženo. Největší z nich jsou Příbram, Rožná, Stráž, Hamr, Jáchymov, Horní Slavkov a Zadní Chodov. (Těžba | DIAMO, státní podnik, 2016)



Obrázek 21 Ložiska uranu (Dokoupil, 2005)

Rudní – uranové rajóny	**Ložiska uranu**
I. Jáchymovský rajón	1-2. Hamr,Stráž (Břevniště, Osečná-Kotel)
II. Horno-slavkovský rajón	3. Brzkov
III. Západočeský rajón	4. Jasenice - Pucov
IV. Severočeská uranová oblast	5. Rožná
V. Příbramský rajón	

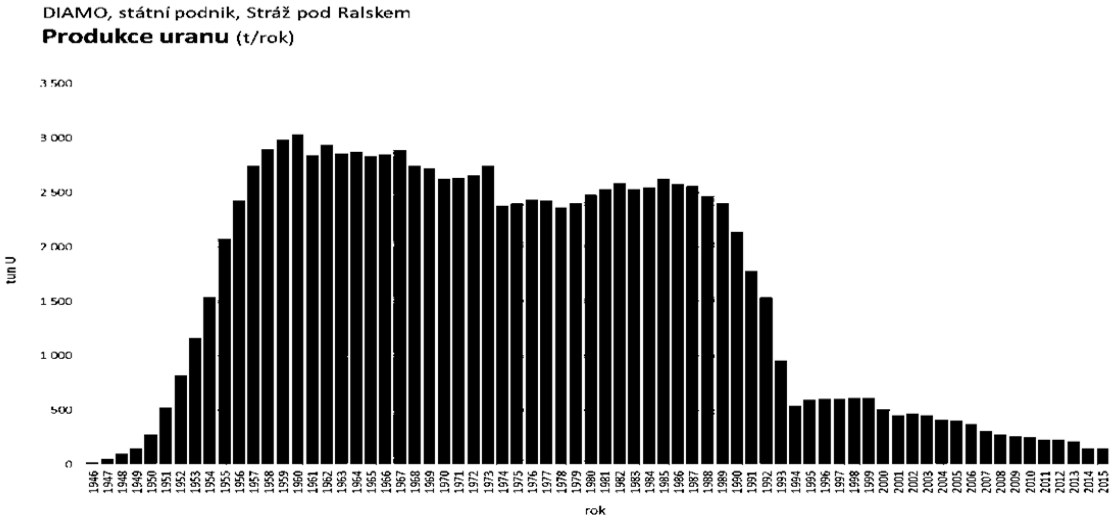
VI. Okrouhlá Radouň

VII. Západomoravský

VIII. Zálesí v Rychlebských horách

Současný stav těžby

V současnosti je na našem území pouze jedna lokalita, kde probíhá těžba - ložisko Rožná v okrese Žďár nad Sázavou. Těží se v 22. až 24. patře jámy R7S. Vláda České republiky schválila usnesením č. 50 z 25. ledna 2016 postupné uzavírání dolu Rožná I v dolní Rožínce do konce roku 2017. Na obrázku 22 lze vidět množství těženého uranu. (Těžba | DIAMO, státní podnik, 2016)



Obrázek 22 Stav těžby uranu v ČR

4.1 Bližší pohled na ložisko Rožná

Ložisko Rožná je součástí Rožnoolšínského rudního pole (podrobněji na obrázku 23). Uranové zrudnění v tomto ložisku je hydrotermálního původu o stáří zhruba 250 milionu let (Hájek, 2001). Samotné ložisko se pak skládá ze sedimentárních (vulkanosedimentárních) hornin, které prošly metamorfózou (facie). Především ruly, amfiboly, mramory a erlany. (Cháb, 2008)

Obrázek 23 Ložisko Rožná (Rožná | DIAMO, státní podnik, 2016)

Lokalizace uranové mineralizace má zlomový charakter. Zejména se zlomy orientovanými směrem SSZ – JJV (Hájek, 2001). Tyto zlomy jsou kolem 30 metrů široké a jsou skosené pod úhlem od 45 - 70° (Hájek, 2001). Uran se zde vyskytuje v uranitové, coffinitové či branneritové podobě. Množství minerálů obsahující uran se postupně od rudního tělesa snižuje (jedná se o nekontrastní zrudnění). Zde těžená ruda obsahuje zhruba 0,15 – 0,25% uranu. (Uranové ložisko Rožná, 2005)

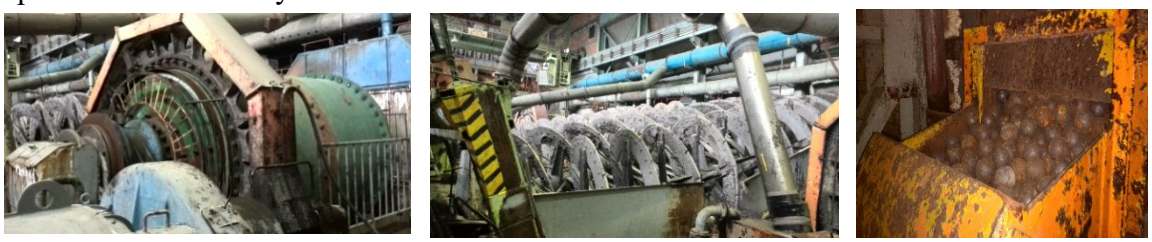
Uranová mineralizace je zde vázána na karbonátové žíly (karbonáty se zde převážně skládají z kalcitu, dolomitu, sideritu či ankeritu). Uranová mineralizace se vyskytuje především na kalcitových žilách a uranové zrudnění se již většinou za koncem těchto žil nevyskytuje. Žíly mají páskovou texturu a lze zde najít i více generací kalcitu (v mladším kalcitu je také jemnozrnný pyrit). Na kalcitových žílách je uran přítomen převážně v minerálu uranit a coffinit. (Uranové ložisko Rožná, 2005)

4.2 Praxe úpravy uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka

Technologie úpravy prodělala s vývojem technologií mnoho změn, samotný základ stále zůstává stejný. Vše začíná u transportu a základním podrcení vytěžené rudy z dolu a její transport do depa (pomocí nákladních automobilů) více na obrázku 24. (Kalas, 2013)

Obrázek 24 Depo chemické úpravny uranu (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015)

Z prostoru depa je rudnina navršena pomocí buldozeru do zásobníku. Ze zásobníků se pomocí šikmého pásu dodává do zásobníku mlýnů, kde je smíchána s technologickou vodou (Toman, 2008) a je mletá v dvoustupňové mlecí lince v kulových mlýnech. V prvním stupni jsou tři mlecí mlýny (1,2,3) a ve druhém je pouze jeden (4) (jedná se o energeticky nejnáročnější činnost v úpravně). Následně je rozemletá rudnina rozdělována na spirálovém klasifikátoru, odkud velké částice putují zpět do prvního cyklu mletí a menší částice do hydrocyklónů, kde jsou podrobeny jemnějšímu třídění. Jemné částice velikosti 74 µm (minimálně 70%) jsou dále vedeny do zahušťovačů, zbytek putuje do druhého stupně mletí (Toman, 2008). Na obrázku 25 lze vidět právě zmiňovaný mlýn a spirálové klasifikátory.



Obrázek 25 Kulový mlýn, spirálové klasifikátory a mlecí tělesa (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015)

Následně je rozemletá rudnina obsahující vodu v poměru 6:1 (rudnina:voda) zahuštěna v zahušťovačích na poměr 1:1 (rudnina:voda). Zahušťování se provádí v zahušťovacích nádržích sestávajících se ze sedimentačních nádrží typu Dorr (průměr 24 m a objem 1200 m^3). Vyčeřená voda je použita při mletí rudy (Výroba chemického koncentrátu UR, 2006). Sedimentace je urychlena pomocí dávkování flokulačního činidla. (Toman, 2008). Zahušťovací nádrže lze vidět na obrázku 26.

Obrázek 26 Zahušťovací nádrže (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015)

Takto upravená rudnina je přiváděna na místo alkalického loužení. Dříve zde byla linka i na kyselé loužení. Kapacita byla projektovaná na možnost zpracovat 270000 tun materiálu za rok pomocí alkalického loužení a 30000 tun materiálu za rok pomocí kyselého loužení. Ovšem z důvodu neekonomičnosti, zejména v důsledku přítomnosti velkého množství karbonátů, které měly za důsledek zvýšení množství kyseliny sírové nutné k loužení z důvodu šumění způsobeného uvolňováním oxidu uhličitého, bylo od kyselého loužení v roce 1969 odpuštěno. (Kalas, 2013)

Dnes se louží pouze alkalicky v osmi loužících kolonách (více na obrázku 27). Ty jsou 21 metrů vysoké s pracovním objemem 550 - 650 m^3 (Toman, 2008). Kolony jsou propojeny kaskádovitými přepady. Uvnitř kolon dochází k uvolňování uranylkarbonátu do kapalné

fáze. Za pomocí tetraamonměďnatého katalyzátoru a sody. Tyto chemické látky jsou míchány společně s upravenou rudninou a vzduchem, při teplotě 80°C. Koncentrace loužicího média je 8 - 10 g/l při pětidenním loužením (Výroba chemického koncentrátu UR, 2006). Vzduch společně s katalyzátorem oxiduje uran z oxidačního čísla $^{+4}$ na $^{+6}$. Soda jako loužicí médium způsobuje přechod uranu do kapalné fáze vlivem změny valenčního stavu. Výtěžnost tohoto procesu se pohybuje kolem 90 % (Výroba chemického koncentrátu UR, 2006). (Toman, 2008)

Kapalná a pevná část z loužicích kolon je separovaná na lince alkalické sorbce (sorbent in pulp), která je tvořena osmi kolonami (Toman, 2008) (obrázek 28).

Obrázek 27 Kolony alkalického loužení (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015)

Kolony jsou vysoké 15 metrů a jsou kaskádovitě spojeny. Míchání je zajištěno vzduchem a teplota v kolonách je do 45°C. (Výroba chemického koncentrátu UR, 2006)

Obrázek 28 Kolony (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015)

Zde je uran sorbován na silně bazický ionex (Kalas, 2013), který je dávkován společně se vzduchem protiproudně k rmutu. Kapalná fáze, která již obsahuje minimální množství uranu, je odváděna do prostotu odkaliště. (Výroba chemického koncentrátu UR, 2006).

Sorbovaný uran z ionexu je eluován postupně na eluční lince, která je tvořena pulzačními kolonami (pulzy jsou tvořeny tlakovým vzduchem) a kolonami, kde je ionex shromažďován. Ionex je vedený potrubím do spodu kolony. Od spodu je pomocí pulzů posouván vzhůru (Výroba chemického koncentrátu UR, 2006). Nejprve dochází k oddělení ionexu od rmutu na rotačních sítech. Eluce se odehrává v pulzačních kolonách. Eluční

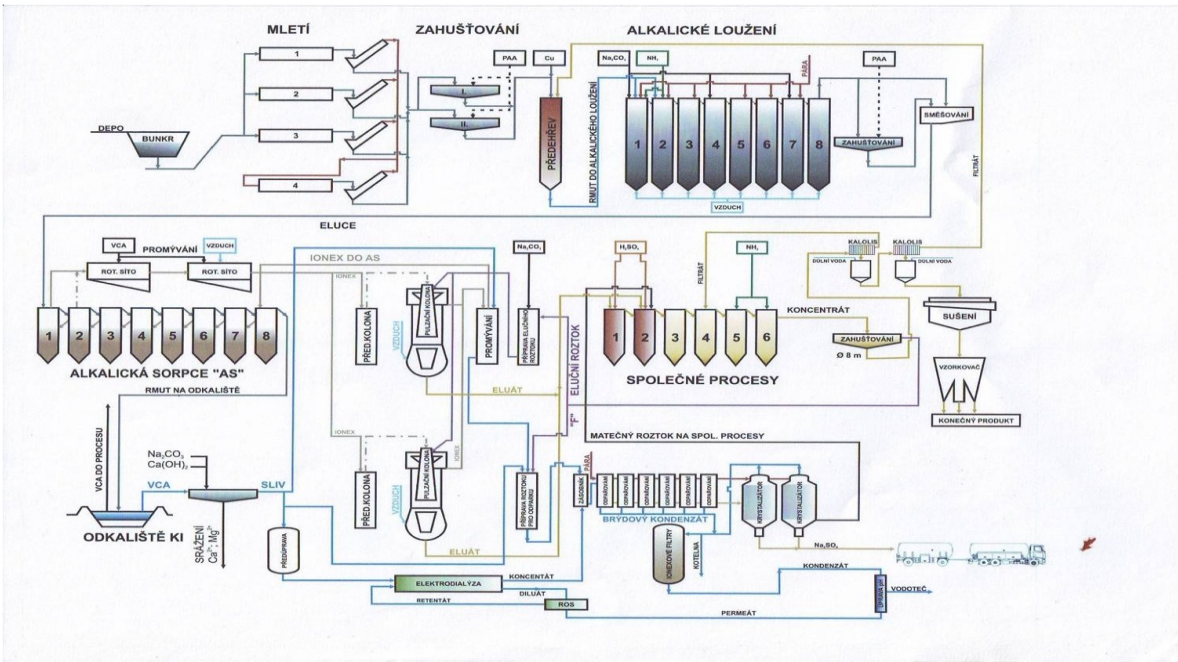
roztok je tvořen 15% roztokem síranu sodného (Kalas, 2013). Je veden do horní části kolony. Koncový eluát (roztok s nashromážděným uranem) je odváděn ze spodní části kolony do takzvaných společných procesů. Zde je upraven na pH kyselinou sírovou (pH 3 – 4) kvůli odstranění karbonátových složek. Dále následuje vysrážení diuranátu amonného (Kalas, 2013) pomocí čpavku při zvýšení pH na 7 – 8. Roztok obsahující vysrážený diuranát amonný je podroben sedimentaci za přítomnosti flokulantu. Sedimentovaný diuranát amonný je odváděn k rafinačnímu čištění. (Toman, 2008)

Rafinační čištění je složeno ze třech základních částí (čpavková, speciální a vodní rafinace). Čpavkem se znovu vysráží při pH 8 – 9 uranový koncentrát, který je filtrovaný na kalolisu (obrázek 29). Zároveň dojde k vytvoření komplexu molybdenu s NH_3 (separace molybdenu). Speciální rafinace spočívá se smícháním s HNO_3 (pH 2) za účelem rozpuštění uranového koncentrátu. Nerozpuštěné látky jsou filtrovány na kalolisu. Zbytkový koncentrát je vysrážen opět pomocí NH_3 (pH 7). Vodní rafinace se provádí dvakrát. Dochází k promývání uranového koncentrátu důlní vodou a opětovná filtrace na kalolisu (odstranění rozpustných látek ve vodě). Po vodní rafinaci je uranový koncentrát připravený na sušení. (Výroba chemického koncentrátu UR, 2006)

Z vodní rafinace je koncentrát ukládán do barometrické nádrže, odkud je odváděný do rozprašovací sušárny. Před sušením jsou na vibračním sítě odstraněny hrubší frakce.

Obrázek 29 Kalolis (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015)

Proces sušení je založen na přítomnosti horkých spalin (spalování zemního plynu) ve spalovací komoře sušárny. Skrz atomizér je koncentrát vstřikován do spalin a dochází tak k jeho sušeni. Spaliny je nutno před vypuštěním vyčistit v odlučovači a v pračce spalin. Po vysušení jsou odebrány vzorky a po vyhovění limitům, je koncentrát zvážen a plněn do 200 litrových sudů s antikorozní úpravou. Zde popsaný postup chemické úprav uranu v Dolní Rožínce je schématicky vyobrazen na obrázku 30.



Obrázek 30 Schéma úpravny uranu v Dolní Rožínce

Výsledný čistý diuranát amonný a přepravní kontejnery jsou na obrázku 31. Na obrázku (Toman, 2008)

Obrázek 31 Diuranát amonný (Sbírky Geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, 2008) a přepravní kontejnery (VÝROBA CHEMICKÉHO KONCENTRÁTU UR, 2006)

Úpravna v současnosti výhradně zpracovává uranovou rudu z ložiska Rožná. Množství vytěženého uranu se časem snižuje a tak je snaha upravovat materiály z jiných zdrojů (dříve kaly ze závodu SUL Příbram), například materiál zbylí po třídění příbramských hald (Kalas, 2013).

5. Experimentální část

Tato kapitola se věnuje průběhu pokusů a jejich výsledků.

5.1 Materiál a postupy

Všechen experimentální materiál, který byl použit k prozkoumání možnosti odstranění karbonátových podílů flotačním postupem, pochází z ložiska uranové rudy Rožná. Dále byl materiál drcen, mlet a hydroseparačně tříděn do požadované zrnitosti (jemné částice velikosti 74 µm minimálně tvořící 70% upravené rudy). Následně byl zahuštěn na hustotu 1:1 (rudnina:voda) v zahušťovačích. Právě z této části je experimentální materiál. Z mlecí linky je materiál transportován do kolon alkalického loužení na Chemické úpravně závodu GEAM Dolní Rožínka. Experimentální materiál byl uložen v barelu o objemu 100 dm^3 ve skladu.

Dle protokolu o zkoušce na měření radiace a kontaminace materiálu bylo určeno, že hodnota povrchového znečištění radionuklidy alfa byla v rozmezí 100 až 300 Bq/m^2 . Dávkový příkon fotonového dávkového ekvivalentu byl změřen na na 1,20 µSv/h. Více v příloze 3.

Před zahájením veškerých experimentálních prací bylo nutno v prostorách Oddělení úpravy nerostných surovin Institutu hornického inženýrství a bezpečnosti ustanovit a nechat schválit Státním úřadem pro jadernou bezpečnost „Pracoviště pro nakládání se zdroji radioaktivního záření“. Režim pracoviště musí splňovat podmínky bezpečného nakládání s otevřenými zdroji radioaktivního záření, týkající se nakládání s kapalnými a pevnými produkty úpravnických operací (oddělené skladování, přesná evidence atd.).

5.1.1 Charakteristika materiálu

Mineralogické složení vzorku:

Karbonátová složka je tvořená kalcitem a dolomitem. Nejvíce jsou ve rmutu zastoupeny silikátové minerály s převahou křemene (cca 30%) a živců (cca 30%) (více tabulka 11).

Tabulka 11 Mineralogické složení vzorku

Název minerálu	Složení (%)
Křemen	33,12
Chlorit	11,43
Muskovit	8,99
Dolomit	3,11
Kalcit	6,6
Aktinolit	4,29
Albit	27,86
Mikroklin	6,4

Vzhledem k semikvantitativnímu charakteru XRD analýzy nebyly v rudě při prvotní RTG analýze identifikovány minoritní složky, které se objevily až v produktech flotační separace (amfibol, grafit a pyrit).

Karbonátové podíly jako zájmové minerály pro flotační úpravu (kalcit a dolomit) se vyskytují v relativně malých obsazích (do 10%).

Chemické složení vzorku:

Chemické složení vzorku bylo stanoveno pomocí metody rentgenové difrakce (XRD) na Institutu geologického inženýrství HGF, Vysoké škola báňské - Technické univerzity Ostrava. Celý chemický rozbor (rentgenograf) uvádí příloha 1. Ruda byla rovněž analyzována metodou rentgenové fluorescence (XRF) na závodě Chemické úpravny (příloha 4).

Ve vzoru je nejvíce zastoupen hliník a křemík. Dle rentgenové difrakce je množství SiO_2 určeno na 54,12% a množství Al_2O_3 určeno na 13,79%. V menší míře je zde železo (množství Fe_2O_3 je 7,2 %), hořčík (množství MgO je 3,4 %), sodík (množství Na_2O je 2,9 %) a draslík (množství K_2O je 2,1 %). Z hlediska hmotnostního obsahu jsou zde, mimo již získávaný uran, v zajímavé míře přítomny Ti, Mn, Zn, V, Cr, Pb a Sr. Ze zájmových prvků obsahuje ruda nejvíce vanadu, následuje Mo, Nb a Ta. Detailnější přehled o jednotlivém zastoupení prvků je v příloze 1 a 4.

Množství vody ve vzorku:

Obsah vody ve vzorku byl určen dle normy ČSN 72 1174 na 38 %.

Granulometrický rozbor:

Materiál tvořící přívod do alkalického loužení (ve formě zahuštěného rmutu) byl podroben zrnitostnímu rozboru na laserovém granulometru CILLAS 1190 v Laboratoři sypkých hmot Fakulty strojní Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Zde byl testován v rozsahu, 0,04 μm – 2500,00 μm a více jak 90 % objemu rmutu tvoří částice pod 50 μm (tyto hodnoty představují střední hodnoty z pěti měření). Z naměřených dat vyplývá, že materiál je extrémně jemnozrnný. Podrobnější grafy jsou vyobrazeny v příloze 1.

Důvodem extrémní jemnozrnnosti je účinnost samotného alkalického loužicího roztoku, který je k uranové složce velice selektivní, ale zároveň nemá takovou schopnost rozpouštět jalový materiál jako kyselina sírová. Proto je nutné jemného mletí, aby se uranová složka otevřela v co největší míře. Z hlediska flotační úpravy velmi jemnozrnný charakter rmutu představuje poměrně významný problém.

5.1.2 Charakteristika vzorku dle flotovatelnosti

Jak plyne z údajů o mineralogické charakteristice je materiál tvořen především silikátovými minerály a křemenem, zájmová složka je tvořena kalcitem a dolomitem.

Pro flotační získání karbonátových podílů se v zásadě nabízejí dvě základní cesty – **přímá flotace karbonátových podílů** do pěnového produktu s potlačením silikátových minerálů a **reverzní flotace** s přechodem neužitkových silikátových podílů do pěnového produktu. V odborné literatuře se však vyskytuje pouze velmi málo informací o vzájemném flotačním dělení silikátových a karbonátových minerálů.

Živce se flotují téměř výhradně s použitím kationaktivních sběračů na bázi aminů, popřípadě ve směsi se sběrači na bázi kyseliny olejové a jejich solí. Optimální pH pro flotaci albitu se pohybuje mezi 8 – 9, v případě oligoklasu a labradoritu mezi 10 – 11. Živce se vyznačují lepší přirozenou flotovatelnosti než křemen v kyselém prostředí. Tato odlišnost může být využita především v oblasti pH = 2 – 3,5, vytvořeném přídavkem HF. [BOTULA, 2009,2010]

Křemen SiO_2 se flotuje velmi dobře s malým množstvím aminů (C7-C9) v širokém rozmezí pH = 3 – 13 s optimem mezi pH = 7 – 9. Ionty F^- mají potlačující účinek na flotaci křemene zejména v kyselém prostředí. Neflotuje s použitím oleanu sodného [Manser 1975].

Muskovit $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$ flotuje již při velmi nízkých dávkách kationaktivních sběračů. Flotace se provádí v širokém rozmezí pH = 2 – 12. S pomocí anionaktivních sběračů (kyselina olejová) flotuje pouze v úzké oblasti za přítomnosti aktivačních kationtů. Kationaktivní flotace může probíhat v kyselém prostředí (pH = 4 - 4.5) vytvořeném H_2SO_4 , s použitím směsi petroleje + kokosového aminu (C_{12}), popřípadě topného oleje a mastných aminů. Jednu z variant představuje rovněž flotace s použitím směsi kationaktivních a anionaktivních sběračů v zásaditém prostředí (pH = 9 – 10), vytvořeném Na_2CO_3, při potlačení křemene vodním sklem (popřípadě lignosulfonátem), s použitím směsi kyseliny olejové a mastných aminů. [Botula, 2009,2010]

Chlorit $(Mg,Al,Fe)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_{16}$ patří mezi silikáty s nejvyšší oblastí flotovatelnosti ať již s pomocí anionaktivních nebo kationaktivních sběračů ve velmi širokém rozpětí pH. Jeho flotační získávání by tedy nemělo činit velké potíže. [Manser, 1975]

Kalcit $CaCO_3$ je velmi častou složkou mnoha nerostných surovin a jeho flotační vlastnosti byly předmětem celé řady studií. Řada autorů prokázala, že kyselina olejová a její soli se na povrchu kalcitu zachycují formou chemisorbce. Bylo zjištěno, že flotace kalcitu probíhá dobře s použitím funkčních derivátů karboxylových kyselin s kratším řetězcem (např. kyseliny laurové). V případě dolomitu a magnezitu byly identifikovány dva typy působení anionaktivních sběračů – fyzikální sorbci v kyselém prostředí a chemisorbci v zásaditém prostředí [ZHANG,2010]. Řada autorů poukazuje na možnost selektivní flotace minerálů s obsahem Ca ze silikátů s použitím anionaktivních sběračů. Kalcit a sádrovec nesou pozitivní náboje při pH < 10, z čehož plyne možnost jejich separace od silikátových minerálů i bez přítomnosti depresorů [RAO, 1991].

5.1.3 Laboratorní flotace

Veškeré flotační experimenty byly prováděny v laboratorním flotátoru o objemu flotační cely 1 dm^3 (obrázek 32). Přívod vzduchu (360 $dm^3 \cdot hod^{-1}$) byl veden přes externí zařízení do flotačního rmutu, který byl zahuštěn na 300$g \cdot dm^{-3}$. Flotace probíhala při pH 8 – 9 bez regulace. Jako flotační činidla byly použity následující reagencie.

Sběrače

Kyselina olejová patří do skupiny anionaktivních sběračů, jedná se o karboxylovou kyselinu patřící do skupiny mastných kyselin. Mastné kyseliny obecně jsou dobrými sběrači pro získávání průmyslových minerálů. Poměrně často jsou používány jako doplňkové sběrače při flotaci těžkých minerálů, živců a apatitu.

Obrázek 32 Laboratorní flotátor

Flotinor FS2 (Claritant). Tento sběrač řadíme též mezi chemické látky na bázi mastných kyselin (viz kyselina olejová) a má podobné účinky jako kyselina olejová.

Flotinor SM15 (Claritant). Sběrač je na bázi esterů kyseliny mono- a di-fosforečné. Primárně je doporučován pro flotaci minerálů na bázi oxidů Fe a Ti a biotitu ze sklářských písků. Jako další použití udává výrobce flotaci karbonátů (kalcit, magnezit a dolomit) v případě, že hlušinové podíly jsou tvořeny převážně silikáty. Může být použít rovněž pro obrácenou flotaci minerálů fosforu. Často je používán ve směsi se sběrači na bázi mastných kyselin (např. Flotinor FS2).

Jako pěnič byl ve všech případech použit aroma olej v koncentraci 50 $g \cdot t^{-1}$, množství se upravovalo podle tvorby pěny, protože některé sběrače (kyselina olejová), mají také pěnící účinky.

Technologický režim flotace byl následující::

- zahuštění flotačního rmutu: 300 $g.dm^{-3}$
- pH prostředí: 8-9 (bez regulace)
- flotační čas: 5 minut
- automatické sbírání pěny
- provzdušnění 360 $dm^3.hod^{-1}$

- flotační depresor silikátů
  - Vodní sklo 1000 (Na_2SiO_3) $g.t^{-1}$ a 2000 $g.t^{-1}$
- flotační sběrač
  - FLOTINOR FS2 1000 $g.t^{-1}$
  - Kyselina olejová 1000 $g.t^{-1}$
  - FLOTINOR SM15 500 $g.t^{-1}$
- flotační pěnič AROMA olej 50 $g.t^{-1}$

6. Výsledky a diskuze

První část pokusu byla zaměřena na možnost aplikace anionaktivních sběračů na bázi mastných kyselin (kyselina olejová a Flotinor FS2). Užití kyseliny olejové neprokázalo při aplikaci dobré výsledky při flotaci U vzorky U-K (koncentrát) a U-B (balast, odpad). Před dodáním kyseliny byl rmut promícháván 5 minut. Po 5 minutách bylo přidáno 16 kapek kyseliny olejové a následovala 3 minutová agitace. Dále byl přidán aroma olej (50 $g.t^{-1}$) a puštěn přívod vzduchu. Flotace probíhala 5 minut. Výsledky jsou znázorněny v tabulce 12. Předpokládaný důvod nízkého obsahu karbonát byl následkem krátkého času agitace a menší čas k disociaci kyseliny olejové. Proto byla zopakovaná flotace U5 (vzorky U-K5 a UB5), která byla stejná s navýšením agitace na 30 minut. Ani při zvýšené době agitace nedošlo k výraznému zlepšení výnosů i obsahu karbonátů v koncentrátu.

Tabulka 12 Flotace karbonátů při užití kyseliny olejové jako sběrače

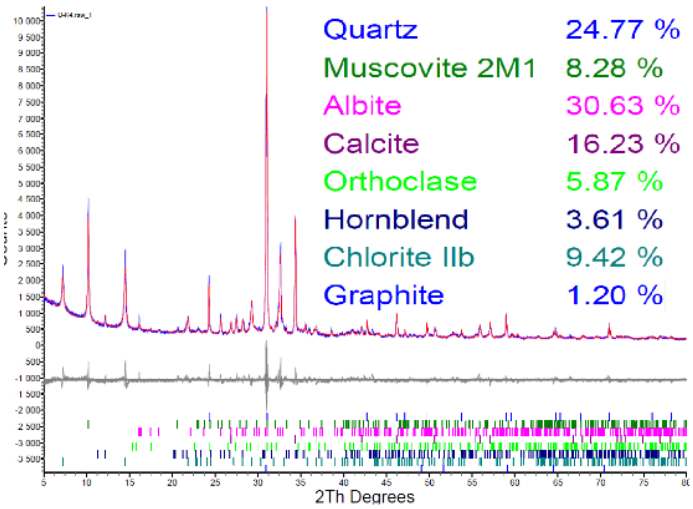
Produkt	Výnos	Obsah karbonátů	Výtěžnost karbonátů	Výtěžnost jaloviny	Účinnost
	[%]	**[%]**	**[%]**	**[%]**	**[%]**
U-K	26.8	11.10	29.53	26.49	3.03
U-B	73.2	9.70	70.47	73.51	-3.03
přívod	100.0	10.08	100.00	100.00	0.00
U-K5	31.1	9.42	38.34	30.47	7.87
U-B5	68.9	6.83	61.66	69.53	-7.87
přívod	100.0	7.63	100.00	100.00	0.00

Při užití Flotinoru FS2 došlo ke zlepšení obsahu karbonátů v pěnovém produktu při flotaci U1 (vzorky U-K1 a UB1, postup flotace byl stejný s flotaci U vzorky U-K a UB1) na 16% a v odpadu bylo kolem 4,5% užitkové karbonátové složky (tabulka 13). Výtěžnost karbonátů se tomto případě pohybovala okolo 78%. Je zde i vysoká výtěžnost jaloviny kolem 47%, což je způsobeno značným zastoupením silikátových podílů v koncentrátu (tabulka 16). Tato skutečnost snižuje efektivitu celého procesu k 30%.

Pro případné potlačení flotace silikátových podílů bylo v dalších experimentech použito vodní sklo. Při flotaci U3 (vzorky U-K3 a UB3) v dávce $1000 g \cdot t^{-1}$ a U4 (vzorky U-K4 a UB4) v dávce 2000g·t-1

Užití vodního skla při koncentraci $1000 g \cdot t^{-1}$ nemělo významný vliv na množství výnosů ani na obsah karbonátů. Použití depresoru v dávce 2000 $g \cdot t^{-1}$ se poměrně významně projevilo

na snížení hmotnostního výnosu koncentrátu (o cca 20%) při zachování účinnosti na hranici 30%. Data o mineralogickém složení koncentrátu U-K4 (obrázek 33) však neprokazují významné potlačení silikátových nerostů. Zůstává tedy otázkou, čím je tato významná změna hmotnostních výnosů způsobena.



Obrázek 33 Mineralogický rozbor vzorku U-K4

Tabulka 13 Flotace karbonátů sběračem FLOTINOR FS2

Produkt	Výnos	Obsah karbonátů	Výtěžnost karbonátů	Výtěžnost jaloviny	Účinnost
	[%]	**[%]**	**[%]**	**[%]**	**[%]**
U-K1	50.1	16.00	78.01	46.91	31.10
U-B1	49.9	4.53	21.99	53.09	-31.10
přívod	100.0	10.28	100.00	100.00	0.00
U-K3	43.6	13.05	73.30	41.13	32.16
U-B3	56.4	3.68	26.70	58.87	-32.16
přívod	100.0	7.77	100.00	100.00	0.00
U-K4	29.6	16.23	56.33	27.11	29.22
U-B4	70.4	5.29	43.67	72.89	-29.22
přívod	100.0	8.53	100.00	100.00	0.00

Pro ověření samotné kinetiky flotace U-K8 (vzorky U-K8-1, U-K8-2, U-K8-3, U-K8-4, U-K8-5 a U-B8) s Flotinorem FS2 byla provedena frakční flotace. Rmut byl promícháván 5 minut a po přidání 16 kapek Flotinoru FS2 (1000g.t^{-1}) proběhla 10 minutová agitace. Po té byl puštěn vzduch a přidán aroma olej (pěnič). Flotace trvala 10 minut a vzorky byly odebírány po 2 minutách. Výsledky frakční flotace jsou v tabulce 14.

Tabulka 14 Frakční flotace karbonátů, sběrač FLOTINOR FS2

Produkt	Flotační čas	Výnos	Obsah karbonátů	Výtěžnost karbonátů	Výtěžnost jaloviny
	[min]	**[%]**	**[%]**	**[%]**	**[%]**
U-K8-1	2	41.2	12.41	70.10	38.93
U-K8-2	4	17.1	6.15	14.42	17.31
U-K8-3	6	7.3	3.68	3.68	7.58
U-K8-4	8	3.5	5.35	2.57	3.57
U-K8-5	10	2.7	3.30	1.22	2.82
U-B8	+10	28.2	2.07	8.00	29.79
přívod		100.0	7.29	100.00	100.00

Podstatná část karbonátů přechází do pěnového produktu v prvních dvou minutách. V tomto čase je obsah karbonátů okolo 12% ve výnosu při výtěžnosti 70%. Další výnosy po 4, 6, 8 a 10 minutě jsou již zanedbatelné a zbytečné. Výsledky mineralogické analýzy (tabulka 16) ukazují, že distribuce křemene i ostatních silikátových minerálů do pěnového produktu je v čase vcelku rovnoměrná.

Další z použitých sběračů je Flotinor SM15, který se doporučuje používat s ostatními sběrači. V našem experimentu byl tento sběrač použit v kombinaci 1:1 (8:8 kapkám, 500 $g.t^{-1}$:500$g.t^{-1}$) k Flotinoru FS2 u flotace U9 (vzorky U-K9 a UB9) a pouze Flotinor SM15 (8 kapek, 500 $g.t^{-1}$) u flotace U10 (vzorky U-K10 a U-B10). Průběh flotace byl kromě sběrače totožný s flotací první (použití kyseliny olejové jako sběrače). Jak je patrné z tabulky 15 v obou případech bylo dosaženo nejvyšší výtěžnosti užitkové složky do koncentrátu na úrovni 90% a nejvyššího obohacení pěnového produktu vzhledem k odpadu ze všech provedených flotací.

Tabulka 15 Flotace karbonátů, sběrač FLOTINOR SM15 a FLOTINOR FS2

Produkt	Výnos	Obsah karbonátů	Výtěžnost karbonátů	Výtěžnost jaloviny	Účinnost
	[%]	**[%]**	**[%]**	**[%]**	**[%]**
U-K9	67.9	9.35	90.40	66.20	24.20
U-B9	32.1	2.10	9.60	33.80	-24.20
přívod	100.0	7.02	100.00	100.00	0.00
U-K10	64.3	9.43	90.37	62.43	27.94
U-B10	35.7	1.81	9.63	37.57	-27.94
přívod	100.0	6.71	100.00	100.00	0.00

7. Zhodnocení experimentálních prací

Experimentální práce měly za cíl provést první (orientační) ověření možnosti flotačního oddělení karbonátových podílů z uranové rudy pocházející z dolu Rožná. Experimenty byly zaměřeny pouze na jednu z možností jejich získávání metodou přímé flotace s použitím anionaktivních flotačních sběračů. Na základě dosažených výsledků můžeme říci, že provedené flotace rámcově prokázaly možnost flotační úpravy ať již s použitím

sběračů na bázi mastných kyselin či s použitím sběračů na bázi směsi esterů kyseliny fosforečné popřípadě jejich kombinace. Časové důvody, spojené především s náročnou problematikou ustavení „Pracoviště pro nakládání se zdroji radioaktivního záření“, a téměř žádné zdroje informací však nedovolily provést hlubší prozkoumání procesu flotačního získávání karbonátových podílů.

Základním problémem zůstává především značné znečištění vyrobených koncentrátů hlušinovými silikátovými podíly, které snižuje podstatným způsobem kvalitu získaných produktů. Další práce, které budou pokračovat v rámci Centra kompetence CEEMIR na HGF, VŠB-TU Ostrava budou muset být zaměřeny především na ověření vlivu granulometrického složení vstupní suroviny, nalezení vhodných potlačujících přísad pro silikátové minerály a popřípadě navržení vhodného technologického schématu (kontrolní a přečisté flotace). Další cestou, která by měla být ověřena, je obrácená flotace suroviny- převedení silikátových podílů do pěnového produktu.

Tabulka 16 Podrobné mineralogické složení produktů flotace (RTG difrakce)

produkt	výnos	obsah [%]						
		kalcit	**dolomit**	**křemen**	**muskovit**	**albit**	**ortoklas-mikroklin**	**chlorit**
U-K	26.8	10.72	0.38	25.00	11.03	32.48	4.68	10.31
U-B	73.2	8.29	1.41	31.81	8.18	34.41	5.54	7.9
přívod	100.0	8.94	1.13	29.98	8.94	33.89	5.31	8.55
U-K1	50.1	15.59	0.41	24.88	9.73	28.77	5.8	8.01
U-B1	49.9	4.26	0.27	29.99	9.55	37.20	4.57	11.08
přívod	100.0	9.94	0.34	27.43	9.64	32.98	5.19	9.54
U-K3	43.6	13.05	0.00	27.98	7.73	30.73	5.52	8.45
U-B3	56.4	3.68	0.00	29.78	9.52	34.97	2.81	13.81
přívod	100.0	7.77	0.00	28.99	8.74	33.12	3.99	11.47
U-K4	29.6	16.23	0.00	24.77	8.28	30.63	5.87	9.42
U-B4	70.4	5.29	0.00	26.38	9.63	35.76	6.13	12.91
přívod	100.0	8.53	0.00	25.90	9.23	34.24	6.05	11.88
U-K5	31.1	9.42	0.00	24.66	8.24	28.55	7.47	13.85
U-B5	68.9	6.83	0.00	34.23	9.71	30.08	6.60	10.11
přívod	100.0	7.64	0.00	31.25	9.25	29.60	6.87	11.27
U-K7	40.7	8.62	0.00	26.51	8.1	30.81	6.35	14.81
U-B7-1	24.6	7.01	0.00	26.36	8.41	27.13	8.15	17.8
U-B7-2	34.7	6.99	0.00	32.27	7.56	36.61	5.01	7.68
přívod	100.0	7.66	0.00	28.47	7.99	31.92	6.33	13.07
U-K8-1	41.2	12.41	0.00	27.86	7.79	33.99	3.35	10.05
U-K8-2	17.1	6.15	0.00	26.99	8.98	30.99	7.45	10.65
U-K8-3	7.3	3.68	0.00	27.93	9.04	31.69	7.29	15.63
U-K8-4	3.5	5.35	0.00	27.16	10.83	30.63	7.32	13.90
U-K8-5	2.7	3.30	0.00	31.33	12.10	30.38	6.67	10.42
U-B8	28.2	2.07	0.00	34.93	8.15	33.57	6.25	11.31
přívod	100.0	7.29	0.00	29.78	8.41	32.98	5.39	11.06

Tabulka 16 Podrobné mineralogické složení produktů flotace (RTG difrakce)

U-K9	67.9	9.35	0.00	29.33	8.38	33.11	5.40	9.99
U-B9	32.1	2.10	0.00	30.20	5.56	39.31	3.42	16.26
přívod	100.0	7.02	0.00	29.61	7.47	35.10	4.76	12.00
U-K10	64.3	9.43	0.00	30.79	7.58	29.62	5.90	11.92
U-B10	35.7	1.81	0.00	31.37	8.49	36.03	8.75	10.92
přívod	100.0	6.71	0.00	31.00	7.90	31.91	6.92	11.56

Seznam obrázků:

Obrázek 1 Hierarchie projektu v rámci 2
Obrázek 2 Schematický popis pěnové flotace upraveno dle (Nguyen, 2004) 4
Obrázek 3 Elektrochemická nerovnoměrnost minerálního povrchu upraveno dle (Kmeť, 1992) 5
Obrázek 4 Schematické znázornění molekuly vody včetně elektrických pólů 6
Obrázek 5 Schéma iontové hydratace 6
Obrázek 6 Úhel smáčení sběračů upraveno dle (Fázové rozhraní, 2011) 7
Obrázek 7 Schematické působení ionogenních sběračů 9
Obrázek 8 Dusíkatá skupina v kationaktivní sběračích upraveno dle (Bulatovic, 2007) 9
Obrázek 9 Schematické zobrazení vzniku trojfázového kontaktu (pomocí olejové vrstvičky) upraveno dle (Kmeť, 1992) 10
Obrázek 10 Orientace molekuly pěniče na rozhraní voda – vzduch (bublina vzduch) 10
Obrázek 11 Změny oxidačního stavu uranu (Gupta, 2003) 12
Obrázek 12 Geochemický cyklus uranu (Gupta, 2003) 13
Obrázek 13 Množství RAR uranových zásob (OECD NEA & IAEA, 2014) 14
Obrázek 14 Rozmístění nalezišť uranu <USD 130/kgU (OECD NEA & IAEA, 2014) 16
Obrázek 15 Jemnozrnný černý coffinit (Sbírka J. Pařízka, 2006) 19
Obrázek 16 Ledvinitý agregát uraninitu v kalcitu (Sbírky Geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, foto J. Jirásek, 2004) 20
Obrázek 17 Množství vyprodukovaného uranu celosvětově (OECD NEA & IAEA, 2014) 20
Obrázek 18 Základní rozdělní těžby uranu (Mining and Milling, 2010) 29
Obrázek 19 Důl McClean Lake (Uranium mining - Canadian Nuclear Association, 2014) 30
Obrázek 20 Schéma dolu McArthur River (Mcarthur River/Key Lake, 2011) 31
Obrázek 21 Ložiska uranu (Dokoupil, 2005) 34
Obrázek 22 Stav těžby uranu v ČR 35
Obrázek 23 Ložisko Rožná (Rožná | DIAMO, státní podnik, 2016) 36
Obrázek 24 Depo chemické úpravny uranu (Úpravna uranové rudy v rámci 36
Obrázek 25 Kulový mlýn, spirálové klasifikátory a mlecí tělesa (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015) 37
Obrázek 26Zahušťovací nádrže (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015) 37
Obrázek 27 Kolony alkalického loužení (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015) 38
Obrázek 28 Kolony (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015) 38
Obrázek 29 Kalolis (Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka, 2015) 39
Obrázek 30 Schéma úpravny uranu v Dolní Rožínce 40
Obrázek 31 Diuranát amonný (Sbírky Geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, 2008) a přepravní kontejnery (VÝROBA CHEMICKÉHO KONCENTRÁTU UR, 2006) 40
Obrázek 32 Laboratorní flotátor 44
Obrázek 33 Mineralogický rozbor vzorku U-K4 46

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Přehled kritických zdrojů v rámci EU (Report on critical raw material for EU, 2014) 1
Tabulka 2 Strukturní vzorec oleátu sodného upraveno dle (Bulatovič, 2007) 8
Tabulka 3 Změna v množství zásob uranu (OECD NEA & IAEA, 2014) 15
Tabulka 4 Geologické rozložené RAR nalezišť (OECD NEA & IAEA, 2014) 16
Tabulka 5 Přehled největších uranových dolů v roce 2014 (Uranium Mining Overview, 2014) 22
Tabulka 6 Množství vyprodukovaného uranu (Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan, 2016) 23
Tabulka 7 Kanadské uranové doly (Uranium mining - Canadian Nuclear Association., 2014) 24
Tabulka 8 Množství vyprodukovaného uranu v tunách U_3O_8 (Australia's Uranium, 2014) 24
Tabulka 9 Množství dolů těžící uran v USA (Energy Information Administration, 2014). 25
Tabulka 10 Vyprodukované množství U_3O_8 v USA v roce 2014 (Energy Information, 2014) Administration, 2014) 25
Tabulka 11 Mineralogické složení vzorku 42
Tabulka 12 Flotace karbonátů při užití kyseliny olejové jako sběrače 45
Tabulka 13 Flotace karbonátů sběračem FLOTINOR FS2 46
Tabulka 14 Frakční flotace karbonátů, sběrač FLOTINOR FS2 47
Tabulka 15 Podrobné mineralogické složení produktů flotace (RTG difrakce) 48

Seznam grafů:

Graf 1 Graf zrnitosti při prvním měření 48
Graf 2 Graf zrnitosti při druhém měření 48
Graf 3 Graf zrnitosti při třetím měření 48
Graf 4 Graf zrnitosti při čtvrtém měření 48
Graf 5 Graf zrnitosti při pátém měření 48
Graf 6 Relevance křivek 48

Seznam citací:

8TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE SGEM 2008, 16-20 June. *Modern management of mine producing, geology and environmental protection*. Sofia: International Scientific GeoConference, 2008. ISBN 9549181812.

Australia's Uranium. *World Nuclear Association - World Nuclear Association*[online]. Londýn, 2015 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/australia.aspx

Bulatovic, S.M., and Jessup. T., *Depressant for Flotation Separation of Polymetallic Sulphide Ores*, US Patent # 5,049,612, Sept. 17, 1991.

BULATOVIC, SRDJAN M. *Handbook of flotation reagents chemistry, theory and practice*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier, 2010. ISBN 978-044-4530-820.

BULATOVIC, Srdjan M. *Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice* [online]. 1st ed. Boston: Elsevier, 2007, 2007, v. <1- > [cit. 2015-11-07]. ISBN 04-445-3029-0. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=NgXJUiYknNoC&printsec=frontcover&dq=flotation&hl=cs&sa=X&ved=0CCcQ6AEwAGoVChMIo-PAx6P-yAIV6J9yCh1bOgV6#v=onepage&q&f=fals

CONVENTIONAL MINING AND MILLING OF URANIUM ORE. *Uranium Producers of America*[online]. New Mexico, 2014 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: http://www.theupa.org/uranium_technology/conventional_mining/

DOKOUPIL, D. Dostupnost primárních energetických zdrojů v ČR, VUPEK-ECONOMY, Praha, listopad 2005

Fázová rozhraní. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. Praha, 2011, 2013 [cit. 2015-11-09]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.12.1.html

FEČKO, P. *Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001. 150 s. ISBN 80-7078-921-2.

FILIPPOV LEV ODISEEVITCH, AGATHE DUVERGER, INNA VLADIMIROVNA FILIPPOVA, HENRY KASAINI a JACQUES THIRY. Selective flotation of silicates and Ca-bearing minerals: The role of non-ionic reagent on cationic flotation. *Minerals Engineering* [online]. 2012, 36-38: 314-323 [cit. 2015-11-10]. DOI: 10.1016/j.mineng.2012.07.013.

FINCH, Robert a Rodney EWING. Uraninite alteration in an oxidizing environment and its relevance to the disposal of spent nuclear fuel. In: *TECHNICAL REPORT 91-15* [online]. Nové Mexiko: CM-Tryck AB, 1990, s. 1-139 [cit. 2016-04-01]. ISBN 0284-3757. Dostupné z: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/23/010/23010581.pdf

GIBSON, C.E., S. KELEBEK a M. AGHAMIRIAN. Niobium oxide mineral flotation: A review of relevant literature and the current state of industrial operations. *International Journal of Mineral Processing*[online]. 2015, **137**, 82-97 [cit. 2016-03-22]. DOI: 10.1016/j.minpro.2015.02.005. ISSN 03017516. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301751615000101

Glembocki, V.A., and Plaskin, I.N., Flotation, Gozgortexiizdat, 1961.

GUPTA, C. *Chemical metallurgy: principles and practice*. Cambridge: Wiley-VCH, c2003. ISBN 3527303766.

HÁJEK, Antonín, 2001. Geologická charakteristika rudního pole Rožná-Olší . *Minerál*, 2001, Roč. 9, č. 2, s. 118-124. ISSN 1210-0710

HORE-LACY, Ian. *Uranium for Nuclear Power*. 1. Woodhead, 2016. ISBN 978-0-08-100307-7.

Hydrochemická těžba uranu. *Periodická soustava prvků* [online]. 2013 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.prvky.com/hydrochemicka-tezba.html

CHÁB, Jan. *Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu*. Vyd. 1. Praha: Česká geologická služba, 2008. ISBN 978-80-7075-703-1.

IAEA,*Establishment of uranium mining and processing operations in the context of sustainable development*. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 2009. ISBN 9789201044099.

IAEA. *Methods of exploitation of different types of uranium deposits* [online]. 1. Vienna: IAEA, 2000 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1174_prn.pdf

In Situ Leach (ISL) Mining of Uranium. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Londýn, 2014 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/in-situ-leach-mining-of-uranium.aspx

JURSÍK, František. *Anorganická chemie nekovů* [online]. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2001, 2001, v, 228 s. [cit. 2015-11-08]. ISBN 80-708-0417-3. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-417-3/pdf/046.pdf

KALAS, Robert. 45 let provozu Chemické úpravny uranové rudy v Dolní Rožínce. *DIAMO*[online]. 2013, **XVIII**(4), 1-2 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiwj_j1jtXLAhXKDywKHRQeDeQQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.diamo.cz%2Fdownload-document%2F173-noviny-diamo-duben-2013&usg=AFQjCNE_asU8dhFjYo4gQnuo432SOp5qWw&sig2=lcFQPqJcr6KhhAkYRIbqOg&bvm=bv.117218890,d.bGg

KMEŤ, S. *Flotácia*. Vydavatel´stvo Alfa, Bratislava, 1992. 289 s. ISBN 80-05-00971-2

LARSEN E. a R.A. KLEIV. Towards a new process for the flotation of quartz. *Minerals Engineering* [online]. 2015, 83: 13-18 [cit. 2015-11-10]. DOI: 10.1016/j.mineng.2015.08.004.

LIU, Y. a Q. LIU. Flotation separation of carbonate from sulfide minerals, I: flotation of single minerals and mineral mixtures.*Minerals Engineering* [online]. 2004, **17**(7-8), 855-863 [cit. 2016-03-22]. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.03.006. ISSN 08926875. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0892687504000627

MARÉCHAL, Yves. *The hydrogen bond and the water molecule: the physics and chemistry of water, aqueous and bio media* [online]. 1st ed. Amsterdam: Elsevier, 2007, 2007, xiii, 318 s. [cit. 2015-11-08]. ISBN 978-0-444-51957-3. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=dH1dAbuF-HAC&printsec=frontcover&dq=water+molecule&hl=cs&sa=X&ved=0CCEQ6AEwAGoVChMIyZrkkeOAyQIVqPNyCh3jXglX#v=onepage&q&f=false

MCARTHUR RIVER/KEY LAKE. *Uranium Producers of America* [online]. 2011 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: https://www.cameco.com/annual_report/2011/mda/our_operations_development_projects/uranium/operating_properties/mcarthur_river_key_lake/

MERKEL, Broder a Andrea HASCHE-BERGER. *Uranium, mining and hydrogeology*. Berlin: Springer, c2008. ISBN 3540877452. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=49b-beOfaAUC&printsec=frontcover&dq=uranium+mining&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwjI94L3ve3LAhXHtBQKHWoOADUQ6AEIMjAD#v=onepage&q=uranium%20mining&f=false

Mineral Species sorted by the element U Uranium. *Mineralogy Database* [online]. MSAccess, Expressions Web 2, 2O14n. l. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: http://webmineral.com/chem/Chem-names-U.shtml#.Vv5J9GiLSUl

Mining and Milling. *HKNIC* [online]. Hong Kong: Hong Kong Nuclear Investment, 2010 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: https://www.hknuclear.com/nuclear/power/cycle/miningandmilling/pages/miningandmilling.aspx

NGUYEN, Anh V a Hans Joachim SCHULZE. *Colloidal science of flotation* [online]. Volume 118. New York: Marcel Dekker, c2004, 2004, xix, 850 p. [cit. 2015-11-07]. ISBN 08-247-4782-8. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=ELFH5WtoZX4C&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false

OECD NEA & IAEA. *Uranium 2009: Resources, Production and Demand.* Paris: OECD Nuclear Energy Agency & International Atomic Energy Agency, 2010. 456 s.

OECD NEA & IAEA. *Uranium 2014: Resources, Production and Demand* [online]. 1. Paříž: OECD Nuclear Energy Agency, 2014 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2014/7209-uranium-2014.pdf

ORGANIZED BY THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY .. [ET AL.]. *Uranium production and raw materials for the nuclear fuel cycle: supply and demand, economics, the environment and energy security : proceedings of an international symposium on* .. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006. ISBN 9201072066.

Product List & Mobile Compatible Brochure. *Industrial, Mining & Agriculture Products | Albright & Wilson (Aust) Ltd* [online]. Austrálie, 2011, 2011 [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: http://www.albright.com.au/Flipbook/index.html#p=2

RAZUMOV, PEROV.A. *Proektirovanie obogatitel'nyh fabrik*. 1 st. Russia: YoYo Media, 1982. ASIN B007VPWCE4.

REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU: Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. *European Commission | Choose your language | Choisir une langue | Wählen Sie eine Sprache* [online]. 2014, 2014 [cit. 2015-11-27]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiggoanxbDJAhVH7g4KHW6tB3QQFggfMAA&url=http%3A%2F%2Fec.europa.eu%2FDo

csRoom%2Fdocuments%2F10010%2Fattachments%2F1%2Ftranslations%2Fen%2Frenditions%2Fnative&usg=AFQjCNEF6SkHHErPeB2gXS_dxBBFtlw_7A&sig2=yiMYjSJE_byrmSO3SFufRw&cad=rja

Rožná | DIAMO, státní podnik. *O společnosti | DIAMO, státní podnik* [online]. 2016 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.diamo.cz/rozna

Sbírka J. Pařízka, foto J. Pařízek 2006.

Sbírky Geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, foto J. Jirásek 2004

Sbírky Geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava. Foto J. Jirásek, 2008

STARÝ, J., KAVINA, P., VANEČEK, M., SITENSKÝ, I., KOTKOVÁ, J., HODKOVÁ, T.: Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny (stav 2008). Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2009. 473 s.

STRÁSKÝ, Dalibor. CESTA URANU Z LOŽISKA DO JADERNÉHO REAKTORU. *Těžba uranu v souvislostech* [online]. Partnerství o.s., 2008, , 6-10 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.calla.cz/data/energetika/seminare/tezba/sbornik.pdf

Těžba | DIAMO, státní podnik. *O společnosti | DIAMO, státní podnik* [online]. Stráž pod Ralskem, 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://www.diamo.cz/tezba

THE NATIONAL ACADEMIE, *Uranium mining in Virginia: scientific, technical, environmental, human health and safety, and regulatory aspects of uranium mining and processing in Virginia*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2012.

TOMAN, František. Na chemické úpravně o. z. GEAM Dolní Rožínka. *DIAMO* [online]. 2008,**XIII**(4), 1-2 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: http://www.diamo.cz/download-document/32-noviny-diamo-duben-2008

Úpravna uranové rudy v rámci GEAM, o. z., Dolní Rožínka. Foto Z. Čejka, 2015

Uranium — How Is It Mined? SCHOLLE, Ulmer. New Mexico Bureau of Geology & Mineral Resources< [online]. New Mexico: NMBGMR, 2014 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: https://geoinfo.nmt.edu/resources/uranium/mining.html

Uranium - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Londýn, 2014 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/what-is-uranium-how-does-it-work.aspx

Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Londýn: World Nuclear Association, 2016 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx

Uranium mining - Canadian Nuclear Association. *Canadian Nuclear Association*[online]. Kanada, 2014 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://cna.ca/technology/energy/uranium-mining/

Uranium Mining Overview. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Londýn, 2014 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx

Uranové ložisko Rožná: Model pozdně variských a povariských mineralizací. In: Úvodní stránka - Česká geologická služba< [online]. Praha: Česká geologická služba, 2005 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: www.geology.cz/1919/historie/publikace/2005-uran-web.pdf

Uranovy dul KHB (Rozna I.). *Geocaching* [online]. 2012 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: https://www.geocaching.com/geocache/GC1Z04B_uranovy-dul-khb-rozna-i

VÝROBA CHEMICKÉHO KONCENTRÁTU UR. *Http://www.hgf.vsb.cz/cs/* [online]. 2006 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/Chemproc/odkazy/chemicka_uprava_uranu.htm

Y. LIU a Q. LIU. Flotation separation of carbonate from sulfide minerals, I: flotation of single minerals and mineral mixtures.*Minerals Engineering* [online]. 2004, **17**(7-8): 855-863 [cit. 2015-11-10]. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.03.006.

BOTULA,J.; HUMMEL,M. *Provedení rešeršních prací a jejich zhodnocení v oblasti úpravy živcových surovin.* Souhrnná výzkumná zpráva, VŠB-TU Ostrava; GIS-GEOINDUSTRY, s.r.o. Plzeň, 2009

BOTULA, J., ŘEPKA, V., ČECHOVÁ, D. *Výzkum flotační úpravy živcových surovin.* Souhrnná výzkumná zpráva. VŠB-TU Ostrava; GIS - Geoindustry s.r.o., Plzeň, 2010

MANSER , R.M. Handbook of Silicate Flotation. Warren Spring Laboratory, 1975, ISBN 0-856240-53-2

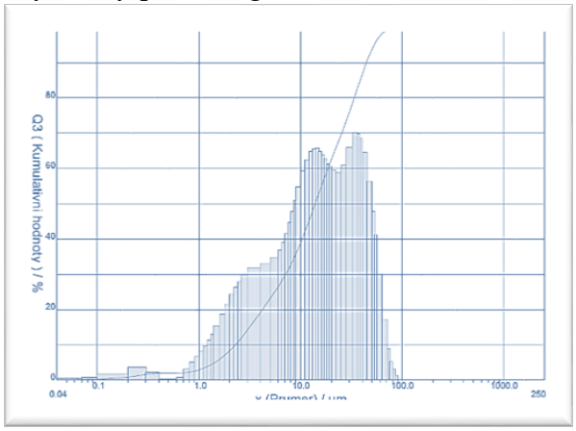
FILIPPOV, Lev Odiseevitch, Agathe DUVERGER, Inna Vladimirovna FILIPPOVA, Henry KASAINI a Jacques THIRY. 2012. Selective flotation of silicates and Ca-bearing minerals: The role of non-ionic reagent on cationic flotation. Minerals Engineering. (36-38), 314-323. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2012.07.013.

RAO, K.H., J.M. CASES a K.S.E FORSSBERG. 1991. Mechanism of oleate interaction on salt-type minerals. *Journal of Colloid and Interface*. **145**(2), 330-347.

Zhang, Patrick Swager, Karen Filho, Laurindo Leal El-Shall, Hassan. (2010). Beneficiation of Phosphates - Technology Advance and Adoption. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME). Online version available at: http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBPNTNTN1/beneficiation-

Příloha 1

Výsledky prvního granulometrického rozboru:



Průměr při 10%: 2,27 µm

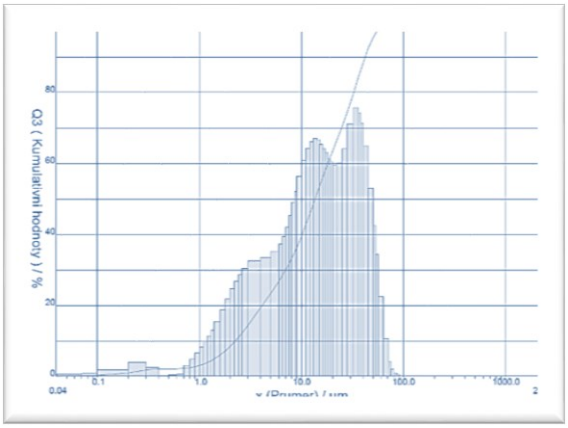
Průměr při 50%: 13,86 µm

Průměr při 90%: 44,34 µm

Průměrný průměr: 19,17 µm

Graf 1 Graf zrnitosti při prvním měření

Výsledky druhého granulometrického rozboru:



Průměr při 10%: 2,24 µm

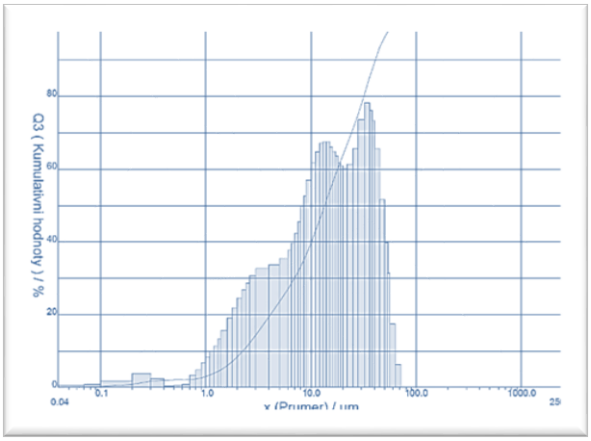
Průměr při 50%: 13,57 µm

Průměr při 90%: 42,03 µm

Průměrný průměr: 18,41 µm

Graf 2 Graf zrnitosti při druhém měření

Výsledky třetího granulometrického rozboru:



Průměr při 10%: 2,25 µm

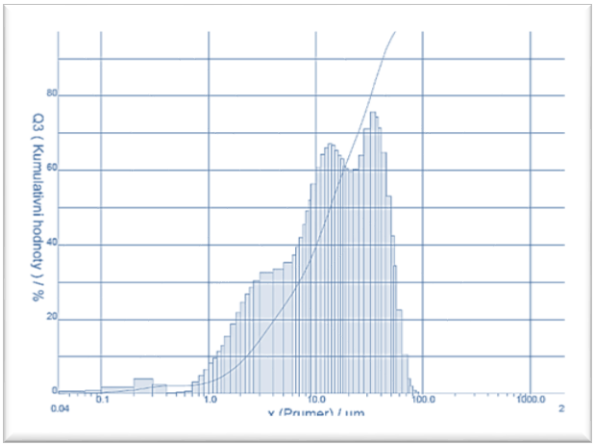
Průměr při 50%: 13,46 µm

Průměr při 90%: 40,79 µm

Průměrný průměr: 17,99 µm

Graf 3 Graf zrnitosti při třetím měření

Výsledky čtvrtého granulometrického rozboru:



Průměr při 10%: 2,26 µm

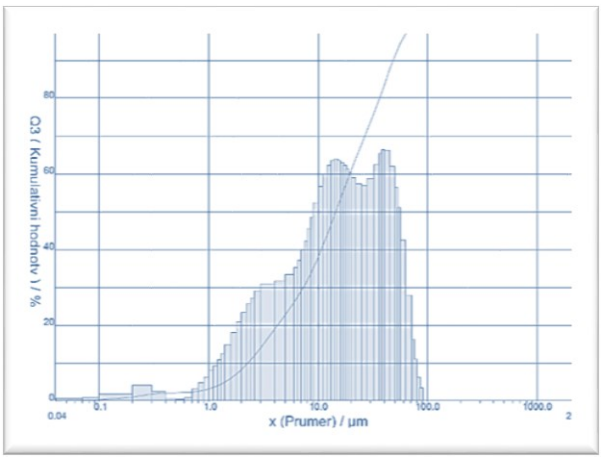
Průměr při 50%: 14,42 µm

Průměr při 90%: 48,54 µm

Průměrný průměr: 20,47 µm

Graf 4 Graf zrnitosti při čtvrtém měření

Výsledky pátého granulometrického rozboru:



Průměr při 10%: 2,27 µm

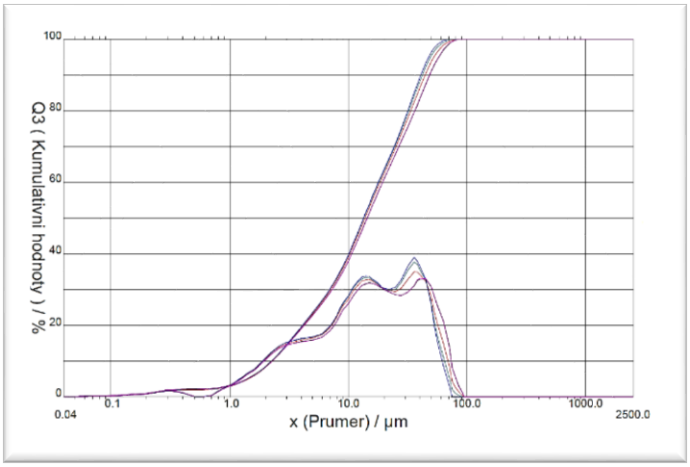
Průměr při 50%: 14,45 µm

Průměr při 90%: 48,44 µm

Průměrný průměr: 20,47 µm

Graf 5 Graf zrnitosti při pátém měření

Celkové srovnání relevance křivek:



Graf 6 Relevance křivek

Příloha 2

VZORKOVNICE

SPECTRO X-LabPro — Job Number: GRANT

Sample Name	**AL vstup 4.12.2014**	Date of Receipt	12/12/2014 09:12:41
Description		Method	TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration		Abs. Error	
11	Na2O	Sodium	109.0664	2.909	%	0.028	%
12	MgO	Magnesium	420.5855	3.472	%	0.013	%
13	Al2O3	Aluminum	4698.3965	13.79	%	0.02	%
14	SiO2	Silicon	32593.4618	54.12	%	0.04	%
15	P2O5	Phosphorus	225.9079	0.2492	%	0.0015	%
16	SO3	Sulfur	2729.7867	1.740	%	0.002	%
17	Cl	Chlorine	119.8447	0.00877	%	0.00006	%
19	K2O	Potassium	450.7172	2.171	%	0.006	%
20	CaO	Calcium	1753.0396	7.280	%	0.010	%
22	TiO2	Titanium	322.1841	1.063	%	0.006	%
23	V2O5	Vanadium	31.4380	0.0391	%	0.0015	%
24	Cr2O3	Chromium	62.8140	0.04588	%	0.00069	%
25	MnO	Manganese	242.8150	0.1381	%	0.0008	%
26	Fe2O3	Iron	18299.3670	7.566	%	0.006	%
27	CoO	Cobalt	3.2097	0.00224	%	0.00035	%
28	NiO	Nickel	41.7089	0.00780	%	0.00012	%
29	CuO	Copper	62.8252	0.00909	%	0.00012	%
30	ZnO	Zinc	436.3417	0.04769	%	0.00019	%
31	Ga	Gallium	31.9335	0.00219	%	0.00005	%
32	Ge	Germanium	2.4044	0.00012	%	0.00003	%
33	As2O3	Arsenic	103.9936	0.00539	%	0.00009	%
34	Se	Selenium	10.7383	0.00037	%	0.00002	%
35	Br	Bromine	6.5770	0.00021	%	0.00002	%
37	Rb2O	Rubidium	462.4865	0.00972	%	0.00005	%
38	SrO	Strontium	1197.7112	0.02452	%	0.00006	%
39	Y	Yttrium	155.9566	0.00261	%	0.00003	%
40	ZrO2	Zirconium	761.7302	0.00234	%	0.00001	%
41	Nb2O5	Niobium	13.4312	0.00381	%	0.00019	%
42	Mo	Molybdenum	20.7637	0.00452	%	0.00018	%
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
48	Cd	Cadmium	1.4454	< 0.00020	%	(0.0)	%
50	SnO2	Tin	11.3211	0.00200	%	0.00010	%
51	Sb2O5	Antimony	3.1526	< 0.00040	%	(0.0)	%
52	Te	Tellurium	1.1835	< 0.00030	%	(0.0)	%
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030	%	(0.0)	%
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040	%	(0.0)	%
56	Ba	Barium	277.2203	0.2210	%	0.0013	%
57	La	Lanthanum	3.2432	< 0.00020	%	(0.0)	%
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
72	Hf	Hafnium	7.2753	0.00122	%	0.00010	%
73	Ta2O5	Tantalum	7.7258	0.00155	%	0.00018	%
74	WO3	Tungsten	2.8774	0.00025	%	0.00005	%
80	Hg	Mercury	1.0248	< 0.00010	%	(0.0)	%
81	Tl	Thallium	6.1829	0.00024	%	0.00002	%
82	PbO	Lead	153.7943	0.01204	%	0.00012	%
83	Bi	Bismuth	2.2806	< 0.00010	%	(0.0)	%
90	Th	Thorium	14.3535	0.00069	%	0.00005	%
92	U	Uranium	1787.6951	0.08398	%	0.00016	%
		Sum of concentration		95.04	%		

Příloha 3

Protokol č. DOZ /142/2015 Strana 1/2

DIAMO, státní podnik, odštěpný závod GEAM
Středisko zkušebních laboratoří (SZLAB)
zkušební laboratoř č.1306.2 akreditovaná ČIA
592 51 Dolní Rožínka

Tel: 566 593 608 e-mail: gregor@diamo.cz
IČO: 00002739 DIČ: CZ 00002739

L 1306.2

Protokol o zkoušce

Zákazník:	DIAMO, státní podnik, odštepný závod GEAM závod Chemická úpravna 592 51 Dolní Rožínka
Předmět zkoušek:	**Pracovní a životní prostředí**
Podrobný popis zkoušek:	Měření radiace a kontaminace materiálu
Datum odběru a/nebo měření:	2.2.2015
Zkoušky byly ukončeny dne:	2.2.2015
Za zákazníka přítomen:	p. Pelikán

Identifikace položek:

Označení	Lab. číslo	Datum odběru	
Vzorky	627	2.2.2015	8:55
6x barel 50 l se rmutem + krabice se vzorky			

Protokol č. DOZ /142/2015 Strana 2/2

Výsledky zkoušek:

Označení položky	Lab. číslo	Zkouška Jednotka Asal Bq/m2	
Vzorky	627	min	100
		max	300

Označení položky	Lab. číslo	Zkouška Jednotka Hx µSv/h
Vzorky	627	1,20

Vysvětlivka: xxx - zkouška nebyla požadována

Zkoušky v oblasti radiační ochrany jsou prováděny v souladu s rozhodnutím SÚJB č.j. SÚJB/RCKA/27695/2014 ze dne 15.12.2014.

Identifikace metod:

Zkouška	Název	Identifikace	Nejistota	Akreditace
Asal	Měření povrchového znečištění radionuklidy	SOP č. 12	20 %	A
Hx	Měření dávkového příkonu záření gama a příkonu fotonového dávkového ekvivalentu	SOP č. 07	20 %	A

Vysvětlivka akreditace: A - zkoušení a/nebo vzorkování je akreditované, N - zkoušení a/nebo vzorkování není akreditované.

Uvedená nejistota představuje rozšířenou nejistotu s použitím koeficientu rozšíření k=2, což odpovídá hladině spolehlivosti přibližně 95%.

Nezahrnuje nejistotu vzorkování.

Zkoušky provedl: Skalník, DiS.

Měřící přístroje: JKA 300 ev.c. BD-0070, Gama rad. FH40G, ev.c. BD-0092

Vysvětlivky zkratek:

Asal - Povrchové znečištění radionuklidy alfa

Hx - Příkon fotonového dávkového ekvivalentu

Poznámky:

627 - ulož: budova zahušťovačů

DIAMO, státní podnik, o. z. GEAM, Středisko zkušebních laboratoří, 592 51 Dolní Rožínka, Zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1306.2

Potvrzuji platnost tohoto protokolu
v Dolní Rožínce 2.2.2015

Jiří Novotný
Vedoucí úseku dozimetrie

Výsledky se týkají pouze předmětu zkoušky a nenahrazují žádné jiné dokumenty. Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.

Příloha 4

SPECTRO X-LabPro — Job Number: GRANT

Sample Name	**AL vstup 1.12.2014**	Date of Receipt	12/05/2014 16:30:44
Description		Method	TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration		Abs. Error	
11	Na2O	Sodium	103.9296	2.730	%	0.027	%
12	MgO	Magnesium	398.8331	3.237	%	0.013	%
13	Al2O3	Aluminum	4536.7999	13.05	%	0.01	%
14	SiO2	Silicon	31700.6308	51.33	%	0.03	%
15	P2O5	Phosphorus	228.6667	0.2438	%	0.0014	%
16	SO3	Sulfur	2795.8547	1.722	%	0.002	%
17	Cl	Chlorine	115.7698	0.00798	%	0.00006	%
19	K2O	Potassium	456.0906	2.123	%	0.006	%
20	CaO	Calcium	1843.3967	7.403	%	0.010	%
22	TiO2	Titanium	315.9211	1.013	%	0.005	%
23	V2O5	Vanadium	27.5839	0.0326	%	0.0014	%
24	Cr2O3	Chromium	49.7628	0.03460	%	0.00062	%
25	MnO	Manganese	247.0461	0.1364	%	0.0008	%
26	Fe2O3	Iron	18018.8991	7.227	%	0.006	%
27	CoO	Cobalt	3.3830	0.00246	%	0.00035	%
28	NiO	Nickel	38.8908	0.00701	%	0.00012	%
29	CuO	Copper	51.9259	0.00726	%	0.00011	%
30	ZnO	Zinc	383.7286	0.04054	%	0.00017	%
31	Ga	Gallium	33.0792	0.00219	%	0.00005	%
32	Ge	Germanium	2.9764	0.00015	%	0.00002	%
33	As2O3	Arsenic	106.5401	0.00534	%	0.00008	%
34	Se	Selenium	10.0531	0.00034	%	0.00002	%
35	Br	Bromine	7.9352	0.00025	%	0.00002	%
37	Rb2O	Rubidium	483.7794	0.00983	%	0.00005	%
38	SrO	Strontium	1260.1206	0.02493	%	0.00006	%
39	Y	Yttrium	159.2115	0.00258	%	0.00003	%
40	ZrO2	Zirconium	759.4008	0.00148	%	0.00001	%
41	Nb2O5	Niobium	11.0352	0.00303	%	0.00018	%
42	Mo	Molybdenum	18.4104	0.00386	%	0.00017	%
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
48	Cd	Cadmium	2.0612	< 0.00020	%	(0.0)	%
50	SnO2	Tin	11.3871	0.00202	%	0.00010	%
51	Sb2O5	Antimony	4.4744	0.00043	%	0.00006	%
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030	%	(0.0)	%
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030	%	(0.0)	%
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040	%	(0.0)	%
56	Ba	Barium	253.9397	0.1986	%	0.0013	%
57	La	Lanthanum	3.5292	< 0.00020	%	(0.0)	%
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
72	Hf	Hafnium	6.8621	0.00110	%	0.00010	%
73	Ta2O5	Tantalum	6.2860	0.00111	%	0.00014	%
74	WO3	Tungsten	2.2478	0.00009	%	0.00002	%
80	Hg	Mercury	0.5083	< 0.00010	%	(0.0)	%
81	Tl	Thallium	6.0657	0.00022	%	0.00002	%
82	PbO	Lead	155.9019	0.01179	%	0.00012	%
83	Bi	Bismuth	3.5807	< 0.00007	%	(0.00003)	%
90	Th	Thorium	15.5992	0.00073	%	0.00004	%
92	U	Uranium	1658.6803	0.07528	%	0.00015	%
		Sum of concentration		90.69	%		

SPECTRO X-LabPro Job Number: GRANT

Sample Name	**AL vstup 8.12.2014**	Date of Receipt	12/12/2014 09:18:14
Description		Method	TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	81.2512	2.373 %	0.026 %
12	MgO	Magnesium	305.0874	2.776 %	0.012 %
13	Al2O3	Aluminum	3622.1491	11.65 %	0.01 %
14	SiO2	Silicon	26434.1827	46.70 %	0.03 %
15	P2O5	Phosphorus	178.5215	0.1977 %	0.0013 %
16	SO3	Sulfur	2435.8489	1.555 %	0.002 %
17	Cl	Chlorine	122.1817	0.00904 %	0.00006 %
19	K2O	Potassium	411.1453	1.977 %	0.006 %
20	CaO	Calcium	1857.1162	7.687 %	0.010 %
22	TiO2	Titanium	299.6099	0.9873 %	0.0056 %
23	V2O5	Vanadium	25.9367	0.0254 %	0.0012 %
24	Cr2O3	Chromium	46.2242	0.03276 %	0.00062 %
25	MnO	Manganese	252.2479	0.1430 %	0.0008 %
26	Fe2O3	Iron	17431.9888	7.177 %	0.006 %
27	CoO	Cobalt	2.7317	< 0.00039 %	(0.0) %
28	NiO	Nickel	40.9693	0.00755 %	0.00012 %
29	CuO	Copper	531.2154	0.07576 %	0.00028 %
30	ZnO	Zinc	343.0067	0.03694 %	0.00017 %
31	Ga	Gallium	30.7636	0.00208 %	0.00005 %
32	Ge	Germanium	0.6139	0.00003 %	0.00003 %
33	As2O3	Arsenic	116.6899	0.00598 %	0.00009 %
34	Se	Selenium	9.1356	0.00031 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	6.8658	0.00022 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	458.0350	0.00951 %	0.00005 %
38	SrO	Strontium	1348.9231	0.02727 %	0.00006 %
39	Y	Yttrium	152.1846	0.00251 %	0.00003 %
40	ZrO2	Zirconium	763.6183	0.00296 %	0.00001 %
41	Nb2O5	Niobium	13.6114	0.00381 %	0.00019 %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	1.4381	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	10.5342	0.00170 %	0.00009 %
51	Sb2O5	Antimony	3.0572	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.1766	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	293.7094	0.2327 %	0.0013 %
57	La	Lanthanum	5.0584	0.00075 %	0.00018 %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	11.0393	0.00105 %	0.00012 %
73	Ta2O5	Tantalum	4.3819	< 0.00012 %	(0.0) %
74	WO3	Tungsten	5.2268	0.00083 %	0.00009 %
80	Hg	Mercury	1.7460	< 0.00008 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	5.8914	0.00021 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	151.5650	0.01170 %	0.00013 %
83	Bi	Bismuth	1.8418	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	15.6803	0.00075 %	0.00005 %
92	U	Uranium	1859.3892	0.08626 %	0.00016 %
		Sum of concentration		83.80 %	

SPECTRO X-LabPro Job Number: GRANT

Sample Name **al vstup 15.12.14** Date of Receipt 12/20/2014 20:07:24
Description Method TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	107.8834	2.945 %	0.028 %
12	MgO	Magnesium	378.7139	3.191 %	0.013 %
13	Al2O3	Aluminum	4508.4534	13.48 %	0.02 %
14	SiO2	Silicon	31137.4229	52.38 %	0.03 %
15	P2O5	Phosphorus	225.7171	0.2489 %	0.0014 %
16	SO3	Sulfur	2425.0712	1.542 %	0.002 %
17	Cl	Chlorine	116.6631	0.00835 %	0.00006 %
19	K2O	Potassium	445.2957	2.132 %	0.006 %
20	CaO	Calcium	1621.2829	6.686 %	0.010 %
22	TiO2	Titanium	318.5430	1.034 %	0.006 %
23	V2O5	Vanadium	27.5025	0.0355 %	0.0015 %
24	Cr2O3	Chromium	35.8498	0.02428 %	0.00058 %
25	MnO	Manganese	245.3932	0.1370 %	0.0008 %
26	Fe2O3	Iron	18333.3806	7.433 %	0.006 %
27	CoO	Cobalt	3.3400	0.00114 %	0.00017 %
28	NiO	Nickel	40.3431	0.00739 %	0.00012 %
29	CuO	Copper	425.3958	0.06036 %	0.00025 %
30	ZnO	Zinc	366.1315	0.03923 %	0.00017 %
31	Ga	Gallium	29.5123	0.00198 %	0.00005 %
32	Ge	Germanium	1.0277	0.00005 %	0.00003 %
33	As2O3	Arsenic	103.1988	0.00526 %	0.00009 %
34	Se	Selenium	9.0838	0.00031 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	7.4394	0.00024 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	493.7839	0.01020 %	0.00006 %
38	SrO	Strontium	1226.4009	0.02468 %	0.00006 %
39	Y	Yttrium	151.8892	0.00250 %	0.00003 %
40	ZrO2	Zirconium	756.5967	0.00055 %	0.00001 %
41	Nb2O5	Niobium	15.3994	0.00429 %	0.00020 %
42	Mo	Molybdenum	21.4193	0.00460 %	0.00019 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	1.4333	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	10.5211	0.00182 %	0.00010 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	3.0628	0.00159 %	0.00059 %
56	Ba	Barium	230.8248	0.1821 %	0.0012 %
57	La	Lanthanum	4.2899	0.00012 %	0.00003 %
58	Ce	Cerium	5.5723	0.00335 %	0.00073 %
72	Hf	Hafnium	8.9467	0.00075 %	0.00010 %
73	Ta2O5	Tantalum	9.6376	0.00032 %	0.00006 %
74	WO3	Tungsten	3.7511	0.00046 %	0.00007 %
80	Hg	Mercury	1.7528	< 0.00010 %	(0.0) %
81	Tl	Thallium	6.9827	0.00027 %	0.00003 %
82	PbO	Lead	161.4811	0.01243 %	0.00012 %
83	Bi	Bismuth	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	18.7271	0.00090 %	0.00005 %
92	U	Uranium	2316.0028	0.1071 %	0.0002 %
		Sum of concentration		91.75 %	

SPECTRO X-LabPro Job Number: GRANT

Sample Name **al vstup 11.12.14** Date of Receipt 12/20/2014 20:01:52
Description Method TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration		Abs. Error	
11	Na2O	Sodium	103.2958	2.727	%	0.027	%
12	MgO	Magnesium	379.7902	3.095	%	0.013	%
13	Al2O3	Aluminum	4505.3811	13.02	%	0.01	%
14	SiO2	Silicon	31760.3781	51.61	%	0.03	%
15	P2O5	Phosphorus	238.5499	0.2554	%	0.0014	%
16	SO3	Sulfur	2683.3071	1.659	%	0.002	%
17	Cl	Chlorine	113.7114	0.00776	%	0.00006	%
19	K2O	Potassium	453.8724	2.119	%	0.006	%
20	CaO	Calcium	1823.1962	7.343	%	0.010	%
22	TiO2	Titanium	297.8989	0.9570	%	0.0053	%
23	V2O5	Vanadium	26.0368	0.0319	%	0.0014	%
24	Cr2O3	Chromium	64.3385	0.04573	%	0.00067	%
25	MnO	Manganese	254.2097	0.1403	%	0.0008	%
26	Fe2O3	Iron	17978.1868	7.212	%	0.006	%
27	CoO	Cobalt	3.7730	0.00285	%	0.00037	%
28	NiO	Nickel	40.1712	0.00725	%	0.00012	%
29	CuO	Copper	99.7849	0.01395	%	0.00013	%
30	ZnO	Zinc	371.0465	0.03919	%	0.00017	%
31	Ga	Gallium	30.0307	0.00199	%	0.00005	%
32	Ge	Germanium	2.8042	0.00014	%	0.00003	%
33	As2O3	Arsenic	123.3687	0.00618	%	0.00008	%
34	Se	Selenium	10.8430	0.00036	%	0.00002	%
35	Br	Bromine	8.3560	0.00026	%	0.00002	%
37	Rb2O	Rubidium	494.5909	0.01005	%	0.00006	%
38	SrO	Strontium	1282.0047	0.02537	%	0.00006	%
39	Y	Yttrium	158.8718	0.00257	%	0.00003	%
40	ZrO2	Zirconium	763.9152	0.00300	%	0.00001	%
41	Nb2O5	Niobium	13.8612	0.00380	%	0.00019	%
42	Mo	Molybdenum	21.1237	0.00445	%	0.00018	%
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
48	Cd	Cadmium	1.3378	< 0.00020	%	(0.0)	%
50	SnO2	Tin	12.0556	0.00228	%	0.00011	%
51	Sb2O5	Antimony	3.1987	< 0.00040	%	(0.0)	%
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030	%	(0.0)	%
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030	%	(0.0)	%
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040	%	(0.0)	%
56	Ba	Barium	232.3160	0.1815	%	0.0012	%
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
72	Hf	Hafnium	8.3447	0.00136	%	0.00011	%
73	Ta2O5	Tantalum	7.4383	0.00123	%	0.00017	%
74	WO3	Tungsten	2.7646	0.00022	%	0.00005	%
80	Hg	Mercury	0.9744	< 0.00010	%	(0.0)	%
81	Tl	Thallium	5.7331	0.00020	%	0.00002	%
82	PbO	Lead	145.6722	0.01102	%	0.00012	%
83	Bi	Bismuth	1.2350	< 0.00010	%	(0.0)	%
90	Th	Thorium	17.7204	0.00083	%	0.00005	%
92	U	Uranium	1941.7500	0.08822	%	0.00016	%
		Sum of concentration		90.63	%		

SPECTRO X-LabPro

Job Number: GRANT

Sample Name **AL vstup 22.12.2014**

Date of Receipt 01/09/2015 11:50:34

Description

Method TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	96.4353	2.725 %	0.028 %
12	MgO	Magnesium	345.3148	3.022 %	0.013 %
13	Al2O3	Aluminum	4323.7882	13.43 %	0.02 %
14	SiO2	Silicon	30315.5314	52.79 %	0.03 %
15	P2O5	Phosphorus	221.0891	0.2506 %	0.0015 %
16	SO3	Sulfur	2847.1071	1.866 %	0.002 %
17	Cl	Chlorine	123.3783	0.00945 %	0.00006 %
19	K2O	Potassium	463.7250	2.292 %	0.006 %
20	CaO	Calcium	1715.8195	7.323 %	0.010 %
22	TiO2	Titanium	297.4942	1.006 %	0.006 %
23	V2O5	Vanadium	24.8251	0.0331 %	0.0015 %
24	Cr2O3	Chromium	47.4760	0.03456 %	0.00064 %
25	MnO	Manganese	241.1522	0.1399 %	0.0009 %
26	Fe2O3	Iron	17692.7572	7.456 %	0.006 %
27	CoO	Cobalt	3.9756	0.00308 %	0.00038 %
28	NiO	Nickel	38.0395	0.00717 %	0.00012 %
29	CuO	Copper	160.7474	0.02353 %	0.00017 %
30	ZnO	Zinc	440.2214	0.04867 %	0.00019 %
31	Ga	Gallium	23.2664	0.00161 %	0.00005 %
32	Ge	Germanium	1.3327	0.00007 %	0.00003 %
33	As2O3	Arsenic	141.4961	0.00743 %	0.00010 %
34	Se	Selenium	9.1089	0.00032 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	7.4261	0.00024 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	530.6274	0.01129 %	0.00006 %
38	SrO	Strontium	1246.1608	0.02582 %	0.00006 %
39	Y	Yttrium	160.3690	0.00272 %	0.00003 %
40	ZrO2	Zirconium	727.4180	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	14.0924	0.00404 %	0.00020 %
42	Mo	Molybdenum	20.2154	0.00445 %	0.00019 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	2.1433	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	12.5680	0.00257 %	0.00012 %
51	Sb2O5	Antimony	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
52	Te	Tellurium	1.2176	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	213.1524	0.1703 %	0.0012 %
57	La	Lanthanum	8.9505	0.00573 %	0.00076 %
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
72	Hf	Hafnium	7.8157	0.00114 %	0.00012 %
73	Ta2O5	Tantalum	8.7023	0.00139 %	0.00020 %
74	WO3	Tungsten	2.9930	0.00029 %	0.00006 %
80	Hg	Mercury	1.9991	< 0.00008 %	(0.00003) %
81	Tl	Thallium	6.9799	0.00026 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	177.6607	0.01407 %	0.00014 %
83	Bi	Bismuth	2.7558	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	17.7152	0.00087 %	0.00005 %
92	U	Uranium	2200.4464	0.1047 %	0.0002 %
		Sum of concentration		92.82 %	

SPECTRO X-LabPro Job Number: GRANT

Sample Name **al vstup 18.12.14** Date of Receipt 01/03/2015 12:01:32
Description Method TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration		Abs. Error	
11	Na2O	Sodium	90.5903	2.427	%	0.026	%
12	MgO	Magnesium	360.2765	2.994	%	0.012	%
13	Al2O3	Aluminum	4367.3020	12.85	%	0.01	%
14	SiO2	Silicon	30340.4467	49.97	%	0.03	%
15	P2O5	Phosphorus	204.2529	0.2187	%	0.0013	%
16	SO3	Sulfur	2319.8631	1.431	%	0.002	%
17	Cl	Chlorine	110.3031	0.00734	%	0.00005	%
19	K2O	Potassium	472.1794	2.197	%	0.006	%
20	CaO	Calcium	1771.1034	7.116	%	0.010	%
22	TiO2	Titanium	317.0377	1.012	%	0.005	%
23	V2O5	Vanadium	27.3635	0.0348	%	0.0015	%
24	Cr2O3	Chromium	25.6827	0.01615	%	0.00050	%
25	MnO	Manganese	246.1416	0.1350	%	0.0008	%
26	Fe2O3	Iron	18143.4957	7.227	%	0.006	%
27	CoO	Cobalt	2.9882	0.00182	%	0.00030	%
28	NiO	Nickel	39.1069	0.00701	%	0.00012	%
29	CuO	Copper	67.9759	0.00945	%	0.00011	%
30	ZnO	Zinc	322.5784	0.03387	%	0.00016	%
31	Ga	Gallium	30.3065	0.00199	%	0.00005	%
32	Ge	Germanium	3.5202	0.00017	%	0.00003	%
33	As2O3	Arsenic	130.0376	0.00648	%	0.00008	%
34	Se	Selenium	10.2493	0.00034	%	0.00002	%
35	Br	Bromine	7.3516	0.00023	%	0.00002	%
37	Rb2O	Rubidium	524.1233	0.01058	%	0.00005	%
38	SrO	Strontium	1255.3718	0.02468	%	0.00006	%
39	Y	Yttrium	166.6430	0.00268	%	0.00003	%
40	ZrO2	Zirconium	749.7686	< 0.00014	%	(0.0)	%
41	Nb2O5	Niobium	11.6806	0.00318	%	0.00018	%
42	Mo	Molybdenum	17.0292	0.00354	%	0.00017	%
47	Ag	Silver	1.1139	0.00034	%	0.00018	%
48	Cd	Cadmium	3.0155	0.00019	%	0.00004	%
50	SnO2	Tin	10.9431	0.00192	%	0.00010	%
51	Sb2O5	Antimony	2.8600	< 0.00040	%	(0.0)	%
52	Te	Tellurium	0.0000	< 0.00030	%	(0.0)	%
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030	%	(0.0)	%
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040	%	(0.0)	%
56	Ba	Barium	228.4398	0.1777	%	0.0012	%
57	La	Lanthanum	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
58	Ce	Cerium	0.0000	< 0.00020	%	(0.0)	%
72	Hf	Hafnium	7.2554	0.00115	%	0.00010	%
73	Ta2O5	Tantalum	6.7234	0.00115	%	0.00015	%
74	WO3	Tungsten	3.4579	0.00038	%	0.00006	%
80	Hg	Mercury	0.1981	< 0.00010	%	(0.0)	%
81	Tl	Thallium	5.6538	0.00020	%	0.00002	%
82	PbO	Lead	124.0046	0.00932	%	0.00012	%
83	Bi	Bismuth	1.8789	< 0.00010	%	(0.0)	%
90	Th	Thorium	17.4312	0.00081	%	0.00004	%
92	U	Uranium	1792.8006	0.08086	%	0.00016	%
		Sum of concentration		88.01	%		

SPECTRO X-LabPro Job Number: GRANT

Sample Name **AL vstup 29.12.2014** Date of Receipt 01/09/2015 12:01:40
Description Method TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	85.1051	2.354 %	0.026 %
12	MgO	Magnesium	339.2603	2.920 %	0.012 %
13	Al2O3	Aluminum	4060.9000	12.36 %	0.01 %
14	SiO2	Silicon	28541.2419	48.26 %	0.03 %
15	P2O5	Phosphorus	225.7432	0.2441 %	0.0014 %
16	SO3	Sulfur	2706.7140	1.690 %	0.002 %
17	Cl	Chlorine	123.5897	0.00902 %	0.00006 %
19	K2O	Potassium	438.2799	2.059 %	0.006 %
20	CaO	Calcium	1721.9521	6.970 %	0.010 %
22	TiO2	Titanium	310.3202	0.9927 %	0.0053 %
23	V2O5	Vanadium	29.1125	0.0320 %	0.0013 %
24	Cr2O3	Chromium	40.4413	0.02742 %	0.00060 %
25	MnO	Manganese	244.5917	0.1347 %	0.0008 %
26	Fe2O3	Iron	17976.3453	7.191 %	0.006 %
27	CoO	Cobalt	2.5616	0.00121 %	0.00023 %
28	NiO	Nickel	38.4408	0.00691 %	0.00012 %
29	CuO	Copper	68.7774	0.00959 %	0.00012 %
30	ZnO	Zinc	662.2548	0.06973 %	0.00022 %
31	Ga	Gallium	24.6354	0.00162 %	0.00005 %
32	Ge	Germanium	0.0000	< 0.00005 %	(0.0) %
33	As2O3	Arsenic	114.4269	0.00572 %	0.00011 %
34	Se	Selenium	9.6570	0.00032 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	5.3442	0.00017 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	493.7456	0.01002 %	0.00006 %
38	SrO	Strontium	1202.4490	0.02376 %	0.00006 %
39	Y	Yttrium	152.3577	0.00246 %	0.00003 %
40	ZrO2	Zirconium	743.4307	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	12.5041	0.00342 %	0.00018 %
42	Mo	Molybdenum	0.0000	< 0.00010 %	(0.0) %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	0.5990	< 0.00020 %	(0.0) %
50	SnO2	Tin	12.3883	0.00227 %	0.00011 %
51	Sb2O5	Antimony	5.0691	0.00060 %	0.00007 %
52	Te	Tellurium	1.6008	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	286.8445	0.2246 %	0.0013 %
57	La	Lanthanum	3.6647	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	7.9384	0.00621 %	0.00094 %
72	Hf	Hafnium	7.1124	0.00112 %	0.00010 %
73	Ta2O5	Tantalum	7.0387	0.00125 %	0.00016 %
74	WO3	Tungsten	3.8027	0.00047 %	0.00008 %
80	Hg	Mercury	3.3040	0.00015 %	0.00002 %
81	Tl	Thallium	8.6992	0.00032 %	0.00003 %
82	PbO	Lead	311.3290	0.02352 %	0.00014 %
83	Bi	Bismuth	4.5791	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	16.3839	0.00076 %	0.00005 %
92	U	Uranium	1848.1329	0.08380 %	0.00016 %
		Sum of concentration		85.72 %	

SPECTRO X-LabPro Job Number: GRANT

Sample Name **AL vstup 25.12.2014** Date of Receipt 01/09/2015 11:56:07
Description Method TurboQuant-Pellets

Z	Symbol	Element	Norm. Int.	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	96.5625	2.688 %	0.027 %
12	MgO	Magnesium	354.7195	3.059 %	0.013 %
13	Al2O3	Aluminum	4336.5113	13.27 %	0.02 %
14	SiO2	Silicon	30070.5317	51.57 %	0.03 %
15	P2O5	Phosphorus	221.2858	0.2464 %	0.0015 %
16	SO3	Sulfur	3137.7628	2.023 %	0.002 %
17	Cl	Chlorine	141.2506	0.01153 %	0.00007 %
19	K2O	Potassium	458.8507	2.233 %	0.006 %
20	CaO	Calcium	1763.4328	7.410 %	0.010 %
22	TiO2	Titanium	303.6279	1.014 %	0.005 %
23	V2O5	Vanadium	28.7479	0.0371 %	0.0015 %
24	Cr2O3	Chromium	52.9175	0.03850 %	0.00067 %
25	MnO	Manganese	250.8241	0.1441 %	0.0009 %
26	Fe2O3	Iron	17687.0351	7.383 %	0.006 %
27	CoO	Cobalt	3.8399	0.00325 %	0.00042 %
28	NiO	Nickel	38.2283	0.00715 %	0.00012 %
29	CuO	Copper	48.8788	0.00709 %	0.00011 %
30	ZnO	Zinc	869.9858	0.09535 %	0.00027 %
31	Ga	Gallium	24.8001	0.00170 %	0.00006 %
32	Ge	Germanium	1.2156	0.00006 %	0.00003 %
33	As2O3	Arsenic	118.2577	0.00616 %	0.00012 %
34	Se	Selenium	8.5147	0.00030 %	0.00002 %
35	Br	Bromine	6.4982	0.00021 %	0.00002 %
37	Rb2O	Rubidium	505.8742	0.01069 %	0.00006 %
38	SrO	Strontium	1246.6280	0.02568 %	0.00006 %
39	Y	Yttrium	152.5325	0.00257 %	0.00003 %
40	ZrO2	Zirconium	747.9051	< 0.00014 %	(0.0) %
41	Nb2O5	Niobium	13.3151	0.00380 %	0.00020 %
42	Mo	Molybdenum	20.8640	0.00458 %	0.00019 %
47	Ag	Silver	0.0000	< 0.00020 %	(0.0) %
48	Cd	Cadmium	3.0266	0.00022 %	0.00004 %
50	SnO2	Tin	12.1316	0.00234 %	0.00011 %
51	Sb2O5	Antimony	4.2453	0.00036 %	0.00005 %
52	Te	Tellurium	1.6669	< 0.00030 %	(0.0) %
53	I	Iodine	0.0000	< 0.00030 %	(0.0) %
55	Cs	Cesium	0.0000	< 0.00040 %	(0.0) %
56	Ba	Barium	248.8720	0.1989 %	0.0013 %
57	La	Lanthanum	2.7345	< 0.00020 %	(0.0) %
58	Ce	Cerium	7.5842	0.00606 %	0.00097 %
72	Hf	Hafnium	6.4017	0.00103 %	0.00010 %
73	Ta2O5	Tantalum	7.3844	0.00153 %	0.00017 %
74	WO3	Tungsten	1.6927	< 0.00013 %	(0.0) %
80	Hg	Mercury	3.3400	0.00016 %	0.00002 %
81	Tl	Thallium	7.7649	0.00027 %	0.00002 %
82	PbO	Lead	375.3869	0.02955 %	0.00016 %
83	Bi	Bismuth	5.2997	< 0.00010 %	(0.0) %
90	Th	Thorium	17.2567	0.00084 %	0.00005 %
92	U	Uranium	2153.4731	0.1019 %	0.0002 %
		Sum of concentration		91.64 %	